



**Montanuniversität Leoben**

**Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik**

Institutsvorstand: O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Karl E. Lorber



## **Diplomarbeit**

# **Wertstoff Altreifen**

## **Aufbereitung und Einsatz zur qualitativen Verbesserung des Asphaltstraßenbaus**

erstellt am

**Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED)**

**Montanuniversität Leoben**

**Vorgelegt von:**

Maurer Patricia, 9105029

Erzherzog-Johann-Strasse 4

A-8700 Leoben

**Betreuer:**

Dipl.-Ing. Harald Tesch

O.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. Karl E. Lorber

Leoben, 28. Januar 2004



# Inhaltsverzeichnis

|  | <b>Seite</b> |
|--|--------------|
| <b>1 EINLEITUNG .....</b>  | <b>4</b>     |
| 1.1 Problemstellung .....  | 4            |
| 1.2 Zielsetzung .....  | 4            |
| <b>2 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN IN DEUTSCHLAND .....</b>                 | <b>5</b>     |
| 2.1 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz .....                           | 5            |
| 2.2 Rechtliche Grundlage für Verwertung und Entsorgung von Altreifen ..... | 9            |
| <b>3 REIFENENTSORGUNG IN DEUTSCHLAND.....</b>                              | <b>11</b>    |
| 3.1 Reifenkunde.....   | 12           |
| 3.2 Marktsituation und Reifenaufkommen.....                                | 14           |
| 3.2.1 Neureifen.....   | 15           |
| 3.2.2 Runderneuerte Reifen .....   | 15           |
| 3.2.3 Altreifen .....  | 18           |
| 3.3 Altreifenlogistik.....   | 20           |
| 3.4 Altreifenverwertung und -entsorgung.....                               | 21           |
| 3.4.1 Weiterverwendung.....  | 22           |
| 3.4.1.1 Runderneuerung.....  | 23           |
| 3.4.1.2 Sonstige Wiederverwendung.....                                     | 23           |
| 3.4.2 Verwertung .....   | 24           |
| 3.4.2.1 Stoffliche Verwertung .....  | 24           |
| 3.4.2.2 Thermische Verwertung .....  | 26           |
| 3.4.2.3 Rohstoffliche Verwertung .....                                     | 27           |
| 3.4.2.4 Export und unbekannter Verbleib .....                              | 28           |
| 3.4.3 Entsorgung .....   | 29           |
| 3.4.3.1 Deponierung .....  | 29           |
| 3.4.3.2 Müllverbrennung.....   | 30           |
| <b>4 GUMMIMODIFIZIERUNG IM ASPHALTSTRASSENBAU .....</b>                    | <b>31</b>    |
| 4.1 Geschichtliche Entwicklung .....                                       | 31           |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.2      | Anforderungen und Eigenschaften an Drainasphalt.....                                  | 32        |
| 4.3      | Flüster-Asphalt® .....  | 36        |
| 4.3.1    | Charakteristika lärmindernder Beläge .....  | 37        |
| 4.3.2    | Spannungsverhalten anhand des Dreischichtensystem.....                                | 39        |
| 4.3.3    | Anwendungsbereiche von gummimodifiziertem Bitumen .....                               | 43        |
| 4.3.3.1  | SAM- und SAMI-Schichten.....  | 44        |
| 4.3.3.2  | Deponiebau .....  | 46        |
| 4.3.3.3  | Offenporiger Asphalt.....   | 46        |
| 4.3.3.4  | Splittmastixasphalt.....  | 46        |
| 4.3.3.5  | Instandsetzung schadhafter Fahrbahndecken durch Überbauung.....                       | 47        |
| <b>5</b> | <b>MODIFIZIERUNG VON BITUMEN MIT GUMMIMEHL .....</b>                                  | <b>48</b> |
| 5.1      | Definition von Bitumen, Asphalt und Gummimehl .....                                   | 48        |
| 5.2      | Prüfparameter .....   | 48        |
| 5.3      | Bitumen.....  | 50        |
| 5.3.1    | Vom Erdöl zum Bitumen.....  | 50        |
| 5.3.2    | Allgemeines zum Bitumen .....   | 53        |
| 5.3.2.1  | Aufbau von Bitumen .....  | 53        |
| 5.3.2.2  | Kennzeichnung und Verwendung.....   | 54        |
| 5.3.2.3  | Untersuchungsmethoden .....   | 54        |
| 5.3.3    | Bitumen als Bestandteil der Asphaltmischung .....                                     | 56        |
| 5.4      | Gummimehl .....   | 57        |
| 5.5      | Gummimodifiziertes Bitumen .....  | 58        |
| 5.5.1    | Allgemeines zu gummimodifiziertem Bitumen.....  | 58        |
| 5.5.2    | Viskosität .....  | 60        |
| 5.5.3    | Einfluß des eingesetzten Bitumens .....   | 63        |
| 5.5.3.1  | Bedeutung und Eigenschaften des Ausgangsbitumens .....                                | 63        |
| 5.5.3.2  | Prüftechnische Besonderheiten.....  | 64        |
| 5.5.4    | Haltbarkeit und Lagerstabilität von Gummibitumen.....                                 | 68        |
| <b>6</b> | <b>TRANSPORT UND VERARBEITUNG VON GUMMIMODIFIZIERTEM<br/>BITUMEN IM ASPHALT .....</b> | <b>73</b> |
| 6.1      | Asphalt.....  | 73        |
| 6.2      | Membran.....  | 73        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 6.2.1     | Rißarten und ihre Entstehung.....   | 74         |
| 6.2.2     | SAMI-Schicht als Membran.....   | 75         |
| 6.3       | Asphaltemischanlage.....  | 77         |
| 6.3.1     | Chargenmischanlage.....   | 78         |
| 6.3.2     | Mögliche Umweltauswirkungen.....  | 79         |
| 6.4       | Vorbereitungen zum Einbau des Belages.....  | 81         |
| <b>7</b>  | <b>VERARBEITUNG VON ASPHALT ZU STRASSENBELÄGEN .....</b>                              | <b>82</b>  |
| 7.1       | Überbauungsdicke.....   | 82         |
| 7.2       | Einbau des Systems Flüster-Asphalt® .....   | 84         |
| 7.3       | Kantabro-Test.....  | 89         |
| 7.4       | Umweltverträglichkeit bei Herstellung und Wiederverwertung von Flüster-Asphalt® ..... | 91         |
| 7.4.1     | Erhitzungsprüfung.....  | 91         |
| 7.4.2     | Eluat-Test.....   | 91         |
| 7.4.3     | Untersuchung auf organische Substanzen.....   | 92         |
| 7.5       | Erfahrungen anderer Staaten mit Gummibitumen und Drainasphalt.....                    | 93         |
| <b>8</b>  | <b>AUSWIRKUNGEN VON FLÜSTER-ASPHALT® AUF VERKEHR UND ANRAINER .....</b>               | <b>96</b>  |
| 8.1       | Lärminderung.....   | 96         |
| 8.2       | Winterdienst.....   | 100        |
| 8.3       | Sicherheitsaspekte.....   | 100        |
| 8.4       | Wirtschaftlichkeit von gummimodifiziertem Bitumen .....                               | 102        |
| 8.5       | Bewertung von Flüster-Asphalt® .....  | 103        |
| <b>9</b>  | <b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>  | <b>105</b> |
| <b>10</b> | <b>VERZEICHNISSE .....</b>  | <b>108</b> |
| 10.1      | Literatur.....  | 108        |
| 10.2      | Verwendete Abkürzungen/Begriffe .....   | 112        |
| 10.3      | Tabellen.....   | 115        |
| 10.4      | Abbildungen.....  | 117        |



# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Das Altreifenaufkommen ist in den letzten Jahren in Deutschland kontinuierlich gestiegen. Dem Prinzip „Vermeidung vor Verwertung vor Entsorgung“ aus dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz folgend ist diese Abfallart nicht deponierbar, sondern ist aufgrund seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften einer Verwertung zuzuführen. Eine Art der stofflichen Wiederverwertung von Gummi stellt die Aufbereitung von Altreifen und die Herstellung von Gummigranulat und Gummimehl dar, die als Zuschlagstoffe im Straßenbau Anwendung finden können.

Vor 30 Jahren wurde in den USA damit begonnen, Gummimehl aus aufbereiteten Altreifen der Asphaltmischung beizumengen und gezielte Untersuchungen bezüglich der veränderten Straßeneigenschaften durchzuführen. Die Erfahrungen und Erfolge in bezug auf Lärm-minderung, Drainagefähigkeit, Spurrinnenreduktion usw. wurden sehr positiv beurteilt. Mit Hilfe von gemahlene Altreifen kann eine qualitative Verbesserung des Asphaltstraßenbaus erzielt werden.

Seit dem Jahr 1981 wird auch in Europa gummimodifiziertes Bitumen im Asphaltstraßenbau in Form von lärm-mindernder Straßenbeläge eingesetzt. Die Anwendung ist jedoch im Vergleich zu den USA in einem deutlich bescheideneren Umfang gegeben.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den tatsächlichen Anfall an Altreifen in Deutschland abzuschätzen und die grundsätzlich durchführbaren sowie tatsächlich eingesetzten Verwertungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Zuerst wird eine Analyse bezüglich der Aufbereitung von Gummimehl und der anschließenden Herstellung von gummimodifiziertem Bitumen für dessen Einsatz im Asphaltstraßenbau durchgeführt. Ebenfalls wird auf die verwendbaren Bitumen und deren Aufbereitung eingegangen. Der Mischvorgang von Gummibitumen mit Asphalt und die anschließende Verarbeitung dieses Asphalts zu Straßenbelägen ist zu erläutern.

Anschließend ist auf die Auswirkungen dieser Straßenbeläge auf den Verkehr und die Anrainer einzugehen. Es ist auch auf den Umweltaspekt besonderer Wert zu legen. Ebenso sind die technischen Vor- und Nachteile zu beachten. Weiterhin sind die positiven und negativen Seiten auch bezüglich der Nutzungsdauer und der Wirtschaftlichkeit zu betrachten und eine abschließende Bewertung dieser Fahrbahnoberflächen zu herkömmlichem Asphalt durchzuführen.

## 2 Rechtliche Rahmenbedingungen in Deutschland

Im Jahr 1994 wurde vom deutschen Bundestag das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen, kurz: Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) verabschiedet. Es trat am 7. Oktober 1996 in Kraft.

### 2.1 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz [1]

Als oberste Prämisse sieht das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz folgenden Grundsatz:

#### **„Vermeidung vor Verwertung vor Entsorgung“**

Das Gesetz besteht aus 64 Paragraphen und ist mit zwei Anhängen vervollständigt. Es setzt sich aus folgenden neun Teilen zusammen:

1. Allgemeine Vorschriften,
2. Grundsätze und Pflichten der Erzeuger und Besitzer von Abfällen sowie der Entsorgungsträger,
3. Produktverantwortung,
4. Planungsverantwortung,
5. Absatzförderung,
6. Informationspflichten,
7. Überwachungen,
8. Betriebsorganisation und Beauftragter für Abfall,
9. Schlußbestimmungen.

Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz dient der Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen einerseits, und der Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen andererseits (§ 1). Es regelt die Vermeidung, Verwertung und die Beseitigung von Abfällen (§ 2).

Die allgemeinen Begriffe des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz sind im § 3 wie folgt bestimmt:

- (1) „Abfälle im Sinne dieses Gesetzes sind alle beweglichen Sachen, die unter die in Anhang I aufgeführten Gruppen fallen und deren sich ihr Besitzer entledigt,



entledigen will oder entledigen muß. Abfälle zur Verwertung sind Abfälle, die verwertet werden; Abfälle, die nicht verwertet werden, sind Abfälle zur Beseitigung.

- (2) Die Entledigung im Sinne des Absatzes 1 liegt vor, wenn der Besitzer bewegliche Sachen einer Verwertung im Sinne des Anhangs II B oder einer Beseitigung im Sinne des Anhangs II A zuführt oder die tatsächliche Sachherrschaft über sie unter Wegfall jeder weiteren Zweckbestimmung aufgibt.
- (3) Der Wille zur Entledigung im Sinne des Absatzes 1 ist hinsichtlich solcher beweglicher Sachen anzunehmen,
1. die bei der Energieumwandlung, Herstellung, Behandlung oder Nutzung von Stoffen oder Erzeugnissen oder bei Dienstleistungen anfallen, ohne daß der Zweck der jeweiligen Handlung hierauf gerichtet ist, oder
  2. deren ursprüngliche Zweckbestimmung entfällt oder aufgegeben wird, ohne daß ein neuer Verwendungszweck unmittelbar an deren Stelle tritt.

Für die Beurteilung der Zweckbestimmung ist die Auffassung des Erzeugers oder Besitzers unter Berücksichtigung der Verkehrsanschauung zugrunde zu legen.

- (4) Der Besitzer muß sich beweglicher Sachen im Sinne des Absatzes 1 entledigen, wenn diese entsprechend ihrer ursprünglichen Zweckbestimmung nicht mehr verwendet werden, aufgrund ihres konkreten Zustandes geeignet sind, gegenwärtig oder künftig das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere die Umwelt zu gefährden und deren Gefährdungspotential nur durch eine ordnungsgemäße und schadlose Verwertung oder gemeinwohlverträgliche Beseitigung nach den Vorschriften dieses Gesetzes und der auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Rechtsverordnungen ausgeschlossen werden kann.
- (5) Erzeuger von Abfällen im Sinne dieses Gesetzes ist jede natürliche oder juristische Person, durch deren Tätigkeit Abfälle angefallen sind, oder jede Person, die Vorbehandlungen, Mischungen oder sonstige Behandlungen vorgenommen hat, die eine Veränderung der Natur oder der Zusammensetzung dieser Abfälle bewirken.
- (6) Besitzer von Abfällen im Sinne dieses Gesetzes ist jede natürliche oder juristische Person, die die tatsächliche Sachherrschaft über Abfälle hat.
- (7) Abfallentsorgung umfaßt die Verwertung und Beseitigung von Abfällen.

- (8) Besonders überwachungsbedürftig sind die Abfälle, die durch eine Rechtsverordnung nach § 41 Abs. 1 oder § 41 Abs. 3 Nr. 1 bestimmt worden sind. Überwachungsbedürftig sind alle übrigen Abfälle, wenn sie beseitigt werden sollen, sowie die verwertbaren Abfälle, die durch eine Rechtsverordnung nach § 41 Abs. i 3 Nr. 2 bestimmt sind.“

Nach § 4 KrW-/AbfG sind die Grundsätze der Kreislaufwirtschaft folgendermaßen verankert:

- (1) „Abfälle sind
1. in erster Linie zu vermeiden, insbesondere durch die Verminderung ihrer Menge und Schädlichkeit,
  2. in zweiter Linie
    - a. stofflich zu verwerten oder
    - b. zur Gewinnung von Energie zu nutzen (energetische Verwertung).
- (2) Maßnahmen zur Vermeidung von Abfällen sind insbesondere die anlageninterne Kreislaufführung von Stoffen, die abfallarme Produktgestaltung sowie ein auf den Erwerb abfall- und schadstoffarmer Produkte gerichtetes Konsumverhalten.
- (3) Die stoffliche Verwertung beinhaltet die Substitution von Rohstoffen durch das Gewinnen von Stoffen aus Abfällen (sekundäre Rohstoffe) oder die Nutzung der stofflichen Eigenschaften der Abfälle für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke mit Ausnahme der unmittelbaren Energierückgewinnung. Eine stoffliche Verwertung liegt vor, wenn nach einer wirtschaftlichen Betrachtungsweise, unter Berücksichtigung der im einzelnen Abfall bestehenden Verunreinigungen, der Hauptzweck der Maßnahme in der Nutzung des Abfalls und nicht in der Beseitigung des Schadstoffpotentials liegt.
- (4) Die energetische Verwertung beinhaltet den Einsatz von Abfällen als Ersatzbrennstoff; vom Vorrang der energetischen Verwertung unberührt bleibt die thermische Behandlung von Abfällen zur Beseitigung, insbesondere von Hausmüll. Für die Abgrenzung ist auf den Hauptzweck der Maßnahme abzustellen. Ausgehend vom einzelnen Abfall, ohne Vermischung mit anderen Stoffen, bestimmen Art und Ausmaß seiner Verunreinigungen sowie die durch seine Behandlung anfallenden weiteren Abfälle und entstehenden Emissionen, ob der Hauptzweck auf die Verwertung oder die Behandlung gerichtet ist.
- (5) Die Kreislaufwirtschaft umfaßt auch das Bereitstellen, Überlassen, Sammeln, Einsammeln durch Hol- und Bringsysteme, Befördern, Lagern und Behandeln von Abfällen zur Verwertung.“

Im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz werden im § 5 die Grundpflichten der Kreislaufwirtschaft festgelegt:

- (1) „Die Pflichten zur Abfallvermeidung richten sich nach § 9 sowie den auf Grund der §§ 23 und 24 erlassenen Rechtsverordnungen.
- (2) Die Erzeuger oder Besitzer von Abfällen sind verpflichtet, diese nach Maßgabe des § 6 zu verwerten. Soweit sich aus diesem Gesetz nichts anderes ergibt, hat die Verwertung von Abfällen Vorrang vor deren Beseitigung. Eine der Art und Beschaffenheit des Abfalls entsprechende hochwertige Verwertung ist anzustreben. Soweit dies zur Erfüllung der Anforderungen nach den §§ 4 und 5 erforderlich ist, sind Abfälle zur Verwertung getrennt zu halten und zu behandeln.
- (3) Die Verwertung von Abfällen, insbesondere durch ihre Einbindung in Erzeugnisse, hat ordnungsgemäß und schadlos zu erfolgen. Die Verwertung erfolgt ordnungsgemäß, wenn sie im Einklang mit den Vorschriften dieses Gesetzes und anderen öffentlich-rechtlichen Vorschriften steht. Sie erfolgt schadlos, wenn nach der Beschaffenheit der Abfälle, dem Ausmaß der Verunreinigungen und der Art der Verwertung Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit nicht zu erwarten sind, insbesondere keine Schadstoffanreicherung im Wertstoffkreislauf erfolgt.
- (4) Die Pflicht zur Verwertung von Abfällen ist einzuhalten, soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist, insbesondere für einen gewonnenen Stoff oder gewonnene Energie ein Markt vorhanden ist oder geschaffen werden kann. Die Verwertung von Abfällen ist auch dann technisch möglich, wenn hierzu eine Vorbehandlung erforderlich ist. Die wirtschaftliche Zumutbarkeit ist gegeben, wenn die mit der Verwertung verbundenen Kosten nicht außer Verhältnis zu den Kosten stehen, die für eine Abfallbeseitigung zu tragen wären.
- (5) Der in Absatz 2 festgelegte Vorrang der Verwertung von Abfällen entfällt, wenn deren Beseitigung die umweltverträglichere Lösung darstellt. Dabei sind insbesondere zu berücksichtigen
  1. die zu erwartenden Emissionen,
  2. das Ziel der Schonung der natürlichen Ressourcen,
  3. die einzusetzende oder zu gewinnende Energie und
  4. die Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen, Abfällen zur Verwertung oder daraus gewonnenen Erzeugnissen.

- (6) Der Vorrang der Verwertung gilt nicht für Abfälle, die unmittelbar und üblicherweise durch Maßnahmen der Forschung und Entwicklung anfallen.“

Laut § 6 Abs. 1 können Abfälle entweder stofflich verwertet werden, oder zur Energiegewinnung genutzt werden. Vorrang hat die besser umweltverträgliche Verwertungsart.

Die Bundesregierung wird ermächtigt für bestimmte Abfallarten den Vorrang der stofflichen oder energetischen Verwertung zu bestimmen. Hierbei müssen die in § 5 Abs. 5 festgelegten Kriterien und die in Absatz 2 genannten Anforderungen berücksichtigt werden.

In § 6 Abs. 2 ist die energetische Verwertung geregelt. Sie ist im Sinne des § 4 Abs. 4 nur zulässig, wenn

1. „der Heizwert des einzelnen Abfalls, ohne Vermischung mit anderen Stoffen, mindestens 11.000 kJ/kg beträgt,
2. ein Feuerungswirkungsgrad von mindestens 75 % erzielt wird,
3. entstehende Wärme selbst genutzt oder an Dritte abgegeben wird und
4. die im Rahmen der Verwertung anfallenden weiteren Abfälle möglichst ohne weitere Behandlung abgelagert werden können.

Abfälle aus nachwachsenden Rohstoffen können energetisch verwertet werden, wenn die in Satz 1 Nr. 2 bis 4 genannten Voraussetzungen vorliegen.“

Wenn Abfälle keiner Verwertung zugeführt werden, müssen sie dauerhaft beseitigt werden.

Im Anhang I des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz sind die Abfallgruppen aufgelistet.

## **2.2 Rechtliche Grundlage für Verwertung und Entsorgung von Altreifen**

Mit dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz § 4 Abs. 3 wurde der Begriff der Sekundärrohstoffe eingeführt: Sekundärrohstoffe sind wiederverwertbare Rückstände, welche aus Produktion und Vertrieb entstehen. Diese sind entweder erneut der Produktion oder einer stofflichen oder energetischen Verwertung zuzuführen. Als Abfall werden nur die nicht-verwertbaren Rückstände bezeichnet. Altreifen zählen hiernach zur Gruppe der Sekundärrohstoffe.

In Deutschland bildet somit das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz die Grundlage des Verwertungs- und Entsorgungsmarkt für Altreifen.

Abfälle aus der Altautoentsorgung sollen durch die abfallwirtschaftlichen Ziele des KrW-/AbfG vermieden und verringert werden. Die Bauteile von Fahrzeugen sollen nach

Möglichkeit wiederverwendet oder stofflich verwertet werden können. Wiederverwendbare Bauteile sollen möglichst im Automobilbau oder als Ersatzteile wiedereingesetzt werden. Eine stoffliche Verwertung von nicht wiederverwendbaren Bauteilen ist zu bevorzugen, wobei die gewonnenen Recyclate – soweit technisch möglich – im Automobilbau einzusetzen sind.



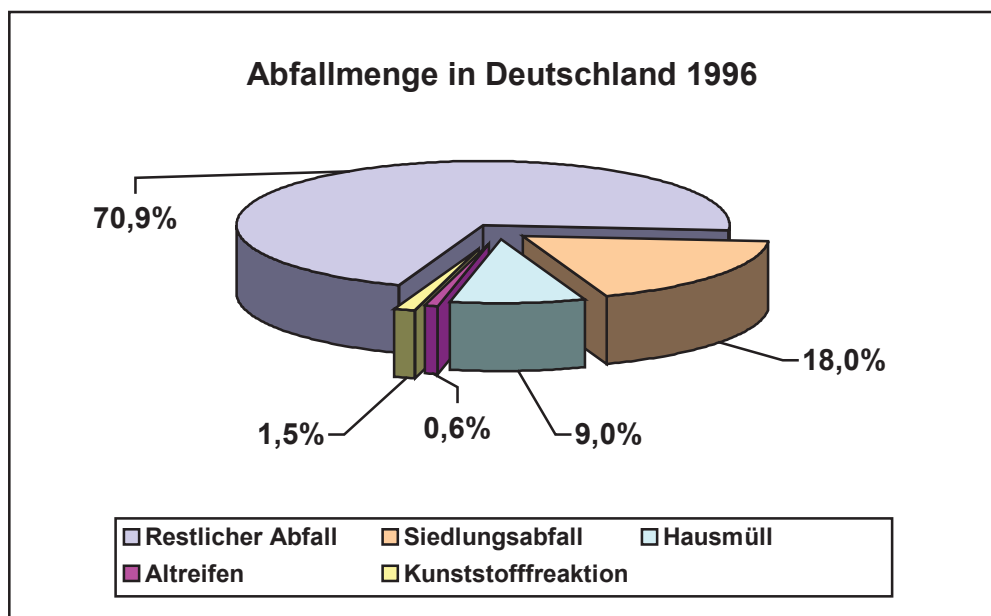


### 3 Reifenentsorgung in Deutschland

Da Altreifen aus hochwertigen, wiedereinsatzbaren Stoffen bestehen und lediglich 14 M.-% einer stofflichen Wiederverwertung zugeführt werden, muß dem Wertstoff Altreifen mehr Beachtung entgegengebracht werden.

Im Jahr 1997 sind in Deutschland 653.000 Mg Altreifen angefallen. Bei derartigen Mengen muß aus umweltpolitischer Sicht vorrangig der Wertstoffkreislauf geschlossen werden. Wie schon erwähnt, ist dem abfallwirtschaftlichen Grundprinzip „Vermeiden vor Verwerten vor Entsorgen“ oberste Priorität einzuräumen.

In Abbildung 3.1 sind die jeweiligen prozentuellen Anteile von Siedlungsabfall, Hausmüll, Kunststoffanteil und Altreifenaufkommen der Gesamtabfallmenge in Deutschland von durchschnittlich 230 Millionen Mg/a gegenübergestellt [2].



**Abbildung 3.1: Abfallmenge in Deutschland 1996**

Trotz steigender Mengen an gebrauchten und ausgedienten Reifen nimmt der Altreifenmarkt derzeit noch immer eine Nischenposition ein.

Exakte Angaben über die Menge anfallender Altreifen, bezogen auf ein Gebiet oder eine Periode, sind nur schwer vorzulegen. Der Informationsfluß bezüglich Erfassung, Verwertung und Verwendung von Altgummi ist oft sehr lückenhaft. Der exakte Verbleib des Wertstoffes ist deshalb erschwert nachvollziehbar und überprüfbar.

Die Gesellschaft für Altgummiverwertungssysteme (GAVS), der Reifenhändler und der Bundesverband Reifenhandel und Vulkaniseur-Handwerk e.V. (BRV) angehören, wurde vom

Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie (W.d.K.) gegründet. Die GAVS bereitet die jährlichen Statistiken über die im Bundesgebiet anfallenden Altreifenmengen auf. Die Daten werden aus Ersatzbedarf und Altautoerfassung, sprich aus Fahrzeuglöschungen, bezogen. Die GAVS hat weiterhin die Aufgabe, Lösungswege zur Altgummiverwertung aufzuzeigen.

### 3.1 Reifenkunde

Weltweit werden jährlich über 800 Millionen Reifen hergestellt. Reifen bestehen zu 33 bis 48 % aus Kautschuk, welcher aus Kohlenwasserstoffketten aufgebaut ist. Mittels der sogenannten Vulkanisation werden diese Ketten miteinander verbunden. Es kommt zur Ausbildung von dreidimensionalen Netzen, welche elastische Eigenschaften besitzen. Der chemisch gebundene Schwefel kann nun nicht mehr entfernt werden. Eine Umkehrung des Vulkanisationsverfahrens ist zwar möglich, aber mit hohen Kosten und Energieaufwand verbunden.

Die stoffliche Zusammensetzung von Reifen variiert je nach Art, ebenso wie der jeweilige Heizwert. Dieser kann zwischen 31.000 kJ/kg und 34.000 kJ/kg liegen, je nachdem, ob die thermische Verwertung inklusive oder exklusive der Stahlkomponenten stattfindet. Der Brennwert ist höher als bei Steinkohle und mit dem von Öl vergleichbar [3].

Im Allgemeinen ist ein Reifen durch Seitenwände, Lauffläche und Wulst aufgebaut und kann aus bis zu 15 unterschiedlichen Bauteilen bestehen. Als Gummibestandteile, welche 2/3 des Reifens ausmachen, sind Butadienkautschuk, Butylkautschuk, Naturkautschuk und Styrol-Butadien-Kautschuk zu nennen. Weitere Aufbaustoffe sind Öle, Ruß und Silica. Durch Beigabe von Stahl, Kevlar oder Nylon erhält der Reifen seine Festigkeit und Formstabilität. Die Hauptbestandteile des Unterbaus – die sogenannte Karkasse – sind meist Polyester oder Rayon, der Wulstbereich ist aus Stahl aufgebaut [3].

In Tabelle 3.1 sind die durchschnittlichen stofflichen Komponenten von Reifen, bezogen auf die Standardzusammensetzungen der drei Hauptgruppen (Pkw-, Lkw- und Lkw-Reifen), dargestellt.



**Tabelle 3.1: Stoffliche Zusammensetzung von Reifen [4]**

| Zusammensetzung             | Pkw<br>[M.-%] | Lkw<br>[M.-%] | Lkw<br>[M.-%] |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Naturkautschuk              | 21            | 19            | 31            |
| Synthesekautschuk           | 24            | 23            | 14            |
| Aktive Füllstoffe (Ruß)     | 28            | 26            | 21            |
| Textil: Reyon               | 3             | 3             | -             |
| Textil: Nylon               | 1             | 1             | 1             |
| Stahl                       | 12            | 18            | 24            |
| Öle, weitere Zuschlagstoffe | 11            | 10            | 9             |

In der Altautoverordnung § 4 Abs. 5 ist die Rücknahme und kostenlose Wiederverwertung der Reifen durch den Händler vorgeschrieben. Die Verwertung und Wiederverwendung soll von 70 Gew.-% 1997 auf 80 Gew.-% innerhalb von drei Jahren erhöht werden [3]. Ob dieses Ziel erreicht werden kann hängt davon ab, wie rentabel die Materialverwertung ist und wie sehr die gesetzlichen Rahmenbedingungen dem entgegenkommen.

Die durchschnittliche Reifenlaufleistung von Neureifen sowie runderneuten Reifen ist abhängig von Faktoren, wie

- individueller Fahrweise,
- Beladung,
- Reifenqualität,
- Straßenbeschaffenheit,
- thermischer Belastung (klimatische Einflüsse),
- Abhebung einer Achse bei Lkws,
- Einhaltung des vorgeschriebenen Luftdruckes und
- technischer Beschaffenheit des Fahrzeuges.

Aufgrund von Erfahrungswerten der Reifenhändler und Reifenhersteller kann die Reifenlaufleistung unter Beachtung der erwähnten Faktoren und bei angemessener Reifenbehandlung wie folgt geschätzt werden (Tabelle 3.2) [5].

**Tabelle 3.2: Reifenlaufleistung auf der Basis von Erfahrungswerten**

| Fahrzeugart  | Reifenlaufleistung [km] |
|--|-------------------------|
| Pkw  | 35.000 - 45.000         |
| Lkw, Kraftomnibusse, gewöhnliche Zugmaschinen, Sattelzugmaschinen und andere Fahrzeuge, wie Feuerwehrauto, Müllfahrzeuge, usw. | 60.000 - 70.000         |
| Anhänger für Lkw, Sattelzug oder andere Fahrzeuge  | 180.000 - 220.000       |
| Krafträder   | 7.000 - 9.000           |

### 3.2 Marktsituation und Reifenaufkommen

Der Bundesverband Reifenhandel und Vulkaniseur-Handwerk e.V. (BRV) veröffentlichte die Ergebnisse des Geschäftsjahres 1998, welche im folgenden datenmäßig zusammengefaßt sind [6].

Das jährliche Reifenaufkommen setzt sich aus Neureifen und runderneuertem Reifen zusammen und läßt sich in fünf Gruppen unterteilen<sup>1</sup>:

- Sommerreifen für Pkw
- Winterreifen für Pkw
- Lkw-Reifen
- Lkw-Reifen
- Reifen für Motorräder.

In den vergangenen Jahren konnte eine deutliche Steigerung der Jahresverkaufsmenge an Reifen vermerkt werden. Diese Steigerung ist vor allem auf erhöhte Verkaufszahlen im Bereich der Winterreifen für Personenkraftwagen zurückzuführen.

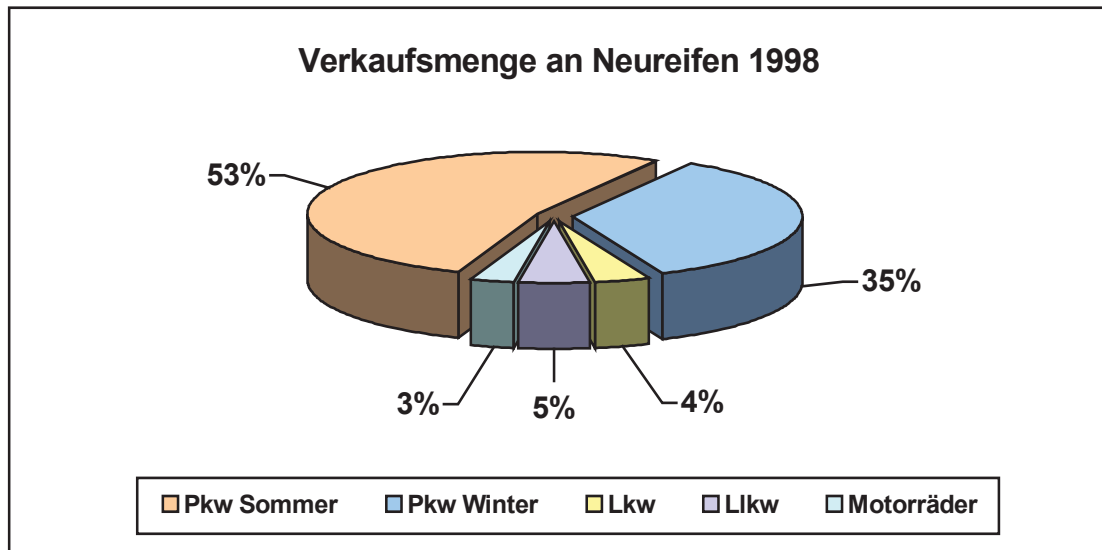
Die gestiegenen Absatzzahlen im Bereich der Winterreifen sind nicht zwingend auf schneereiche Winter zurückzuführen, sondern vielmehr auf eine Automobilkonjunktur und auf ein gesteigertes Sicherheitsbewußtsein des Verbrauchers aufgrund einer erfolgreichen Öffentlichkeitsarbeit von v.a. Automobilklubs und Reifenherstellern. Die Zunahme von neuen Fahrzeugen der gehobenen Klasse veranlaßt viele Fahrzeuginhaber zum vermehrten Kauf

<sup>1</sup> Seit 1998 gelten folgende neue Abgrenzungen: Lkw < 17,5“ und Lkw > 17,5“.

neuer Reifen, um Fahrer und Fahrzeugwert optimal zu schützen. 1999 waren bereits 41,6 % der Autos mit Winterreifen ausgestattet (Vgl.: 39,5 % im Jahr 1998).

### 3.2.1 Neureifen

Der Bedarf an Neureifen wird in Abbildung 3.2 für das Jahr 1998 dargestellt [6].



**Abbildung 3.2: Verkaufsmengen an Neureifen 1998**

Am Pkw-Reifensektor ist eine deutliche Steigerung an verkauften Neureifen, vor allem jedoch an neuen Matsch und Schnee-Reifen, kurz M+S-Reifen, zu verzeichnen. Mit 37,9 Millionen Stück abgesetzten neuen Pkw-Reifen konnte der deutsche Autoreifenhandel 1998 eine Absatzsteigerung von 3,5 % innerhalb eines Kalenderjahres erzielen.

Im Vergleich zum vorhergehenden Jahr ist 1998 bei der Neubereifung der Nutzfahrzeuge (Llkw und Lkw) ein Anstieg von vier Prozent zu vermerken, was auf erhöhte Bestandszahlen und gesteigerte Transportleistung bei diesen Fahrzeugtypen zurückzuführen ist.

Auch der Bedarf an Motorradreifen ist von 1994 bis 1998 um acht Prozent auf insgesamt 1,3 Millionen Motorradreifen gestiegen.

### 3.2.2 Runderneuerte Reifen

Nach Angaben von Reifenherstellern werden von 100 Pkw-Reifen acht Stück und von 100 Lkw-Reifen 40 Stück runderneuert [5].

Der Verkauf an runderneuerten Pkw-Reifen hatte im Geschäftsjahr 1998 Rückgänge von 14,7 % gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen. Dies ist speziell darauf zurückzuführen, daß der Fahrzeughalter mehr Wert auf qualitativ hochwertige Reifen legt. Die verlangten

Qualitäts- und Sicherheitskriterien werden zwar von deutschen Runderneuerern erfüllt, können jedoch von importierten, runderneuerten Pneus meist nicht gehalten werden. Dies veranlaßt den Käufer sich eher für einen Neureifen als für einen runderneuerten Reifen zu entscheiden.

Bei Lkw und Lkw haben die Absatzzahlen keine merkliche Veränderung gezeigt. Es werden zwischen 1,6 und 1,7 Millionen runderneuerte Reifen pro Jahr verkauft.

Runderneuerte Reifen müssen entsprechend gekennzeichnet werden. Billigreifen, welche den Qualitätskriterien nicht entsprechen und nicht vom Fachmann bearbeitet wurden, können durch diese international einheitliche Markierung eindeutig erkannt werden. Dadurch können einheitliche Standards für hohe Qualität und Sicherheit von runderneuerten Reifen für Pkw, Lkw und auch Anhänger gewährleistet werden.

Im Folgenden (Tabelle 3.3) sind die Mengen der vom Handel an den Verbraucher abgesetzten Reifen (Neu- und runderneuerte Reifen für Pkw, Lkw, Lkw und Motorräder) für die Jahre 1992 bis 1998 aufgelistet. Die Tabelle beinhaltet ebenso eine Verkaufsprognose für dieses Ersatzgeschäft für das Geschäftsjahr 1999 [6].

**Tabelle 3.3: Abgesetzte Menge an Neu- und runderneuertem Reifen in Deutschland (Angabe in Millionen Stück)**

| Reifenart                     | 1992              | 1993         | 1994         | 1995         | 1996         | 1997         | 1998         | 1999<br>Prognose |
|-------------------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
|                               | [Millionen Stück] |              |              |              |              |              |              |                  |
| <b>Pkw</b>                    |                   |              |              |              |              |              |              |                  |
| M+S neu                       | 8,30              | 8,30         | 8,20         | 9,80         | 12,50        | 13,60        | 14,80        | 15,30            |
| Sommer neu                    | 24,10             | 24,30        | 24,40        | 24,20        | 23,30        | 23,00        | 23,10        | 23,20            |
| <b>Summe Pkw neu</b>          | <b>32,40</b>      | <b>32,60</b> | <b>32,60</b> | <b>34,00</b> | <b>35,80</b> | <b>36,60</b> | <b>37,90</b> | <b>38,50</b>     |
| M+S runderneuert              | ---               | ---          | 2,50         | 2,80         | 3,03         | 3,15         | 2,63         | 3,60             |
| Sommer runderneuert           | ---               | ---          | 1,50         | 1,53         | 1,13         | 0,85         | 0,58         | 0,70             |
| <b>Summe Pkw runderneuert</b> | <b>---</b>        | <b>---</b>   | <b>4,00</b>  | <b>4,33</b>  | <b>4,16</b>  | <b>4,00</b>  | <b>3,21</b>  | <b>3,60</b>      |
| <b>Summe Pkw</b>              | <b>---</b>        | <b>---</b>   | <b>36,60</b> | <b>38,33</b> | <b>39,96</b> | <b>40,60</b> | <b>41,11</b> | <b>42,10</b>     |
| <b>Lkw und Lkw</b>            |                   |              |              |              |              |              |              |                  |
| Lkw neu                       | 1,88              | 1,92         | 1,87         | 2,02         | 2,01         | 2,04         | 1,98         | 2,10             |
| Lkw runderneuert              | ---               | ---          | 0,37         | 0,51         | 0,35         | 0,33         | 0,17         | 0,31             |
| <b>Summe Lkw</b>              | <b>---</b>        | <b>---</b>   | <b>2,24</b>  | <b>2,44</b>  | <b>2,36</b>  | <b>2,37</b>  | <b>2,15</b>  | <b>2,41</b>      |
| Lkw neu                       | 1,36              | 1,31         | 1,33         | 1,37         | 1,25         | 1,35         | 1,61         | 1,70             |
| Lkw runderneuert              | ---               | ---          | 1,48         | 1,45         | 1,37         | 1,36         | 1,47         | 1,49             |
| <b>Summe Lkw</b>              | <b>---</b>        | <b>---</b>   | <b>2,81</b>  | <b>2,82</b>  | <b>2,62</b>  | <b>2,71</b>  | <b>3,08</b>  | <b>3,19</b>      |
| <b>Summe Lkw und Lkw</b>      | <b>---</b>        | <b>---</b>   | <b>5,05</b>  | <b>5,26</b>  | <b>4,98</b>  | <b>5,08</b>  | <b>5,23</b>  | <b>5,60</b>      |
| <b>Motorrad</b>               |                   |              |              |              |              |              |              |                  |
| <b>Summe Motorrad</b>         | <b>---</b>        | <b>1,12</b>  | <b>1,20</b>  | <b>1,20</b>  | <b>1,25</b>  | <b>1,29</b>  | <b>1,30</b>  | <b>1,33</b>      |
| <b>Summe Reifen</b>           | <b>---</b>        | <b>---</b>   | <b>42,85</b> | <b>44,79</b> | <b>46,16</b> | <b>46,97</b> | <b>47,64</b> | <b>49,03</b>     |

### 3.2.3 Altreifen

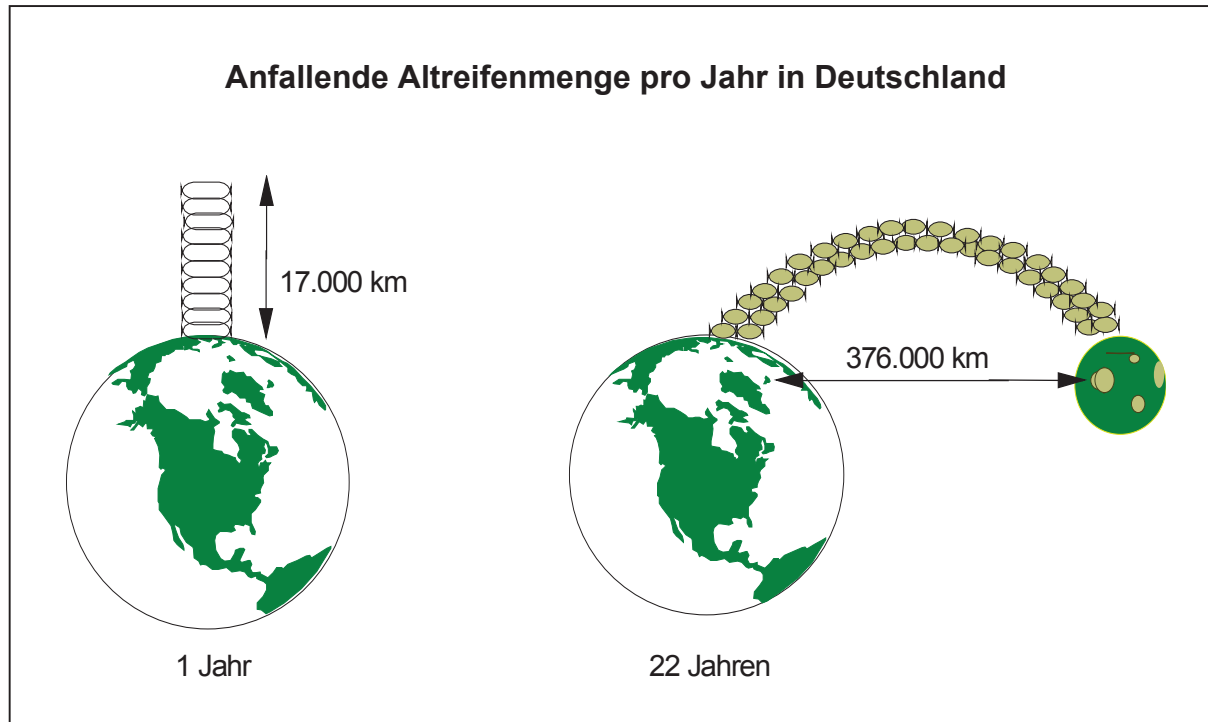
Im Jahr 1997 mußten 515.000 Mg Altreifen durch 572.000 Mg gebrauchsfähige Reifen ersetzt werden. Dieser Ersatzbedarf setzt sich aus 76 % Neureifen (435.000 Mg), 21 % runderneuten Reifen (122.000 Mg) und 3 % Gebrauchtreifen (15.000 Mg) zusammen. Die Differenz von 57.000 Mg zwischen anfallenden Altreifen und Ersatzbedarf geht aufgrund eines durchschnittlichen Reifenabriebs von 10 % verloren. Zu diesem Reifenanfall von 515.000 Mg im Jahr 1997 muß nun noch der Anteil an importierten Gebrauchtreifen sowie Altreifen aus der Autoverwertung hinzugerechnet werden. Es ergaben sich somit 653.000 Mg Reifen die einer Weiterverwendung, Verwertung oder Beseitigung zugeführt wurden. Die genaue Zusammenstellung kann aus Tabelle 3.4 entnommen werden [2].

**Tabelle 3.4: Altreifenaufkommen in Deutschland 1997 [Mg]**

| Reifenzugang und -abgang                                       | Menge [Mg]       |
|--|------------------|
| Neureifen  | 435.000          |
| Runderneuerte Reifen   | + 122.000        |
| Gebrauchtreifen  | + 15.000         |
| <i>Ersatzbedarf</i>  | <i>= 572.000</i> |
| Reifenabrieb   | – 57.000         |
| <i>Altreifenanfall in Deutschland</i>                          | <i>= 515.000</i> |
| Import von Gebrauchtreifen                                     | + 38.000         |
| Altreifen aus der Autoverwertung                               | + 100.000        |
| <b>Reifen zur Weiterverwendung, Verwertung oder Entsorgung</b> | <b>= 653.000</b> |

Für 1997 beträgt der Gummiabrieb auf deutschen Straßen etwa 57.000 Mg. Dieser Gummiabrieb fällt überwiegend als Staub an, der sich zu ca. 90 bis 95 % in die Straßenoberfläche einarbeitet oder am Straßenrand abgelagert wird. Der verbleibende Rest wird zunächst aufgewirbelt und dann sedimentiert.

Ein Megagramm an Altreifen entspricht etwa 142 Pkw-Reifen. Umgerechnet auf die 653.000 Mg ergibt das eine Menge von ca. 93 Millionen Stück Altreifen, die jährlich in Deutschland anfallen. Aufeinandergestapelt könnte man damit einen Turm von rund 17.000 km Höhe bauen. Die in etwa 22 Jahren anfallenden Altreifen würden aneinandergereiht die Distanz Erde-Mond ergeben (Abbildung 3.3) [7].



**Abbildung 3.3: Anfallende Altreifenmenge pro Jahr in Deutschland**

### Altautoverwertung

Die Anzahl der Altautos ist in den vergangenen Jahren stetig angestiegen. In Deutschland werden mehr als 2,5 Millionen Fahrzeuge jährlich stillgelegt. Etwa 50 % dieser Fahrzeuge werden danach einer inländischen Altautoverwertung zugeführt. Rein rechnerisch ergibt sich mit 2,5 Millionen Fahrzeugen pro Jahr eine Stückzahl von 10 Millionen Altreifen. Schätzungen zufolge werden jedoch 30 % der ausrangierten Automobile als Gebrauchtfahrzeuge oder Schrottkarosserien ins Ausland exportiert. Dies führt dazu, daß die tatsächliche Altreifenmenge aus Altautoverwertung weit unter den möglichen 10 Millionen Altreifen liegt.

### Ersatzbedarf

Jeder Reifen ist dem natürlichen Verschleiß unterworfen und ist spätestens nach Erreichen der vorgeschriebenen Mindestprofiltiefe von 1,6 mm zu ersetzen. Der Reifenwechsel für Pkw-Reifen wird in der Regel von Reifenfachhandel, Autoteilhandel, Kfz-Werkstätten und Tankstellen durchgeführt. Für Nutzfahrzeuge von Speditionen, öffentlichen Fuhrparks, Bahn oder Post findet die Neumontage meist direkt beim Abnehmer statt. In Deutschland findet man aufgrund dieses stark verzweigten Netzes an Verkaufs- und Montagestellen zirka 60.000 Anfallstellen von Gebrauchtreifen. Die Altreifen werden entweder durch Neureifen oder runderneuerte Reifen ersetzt.

Unsortierte Ladungen werden vom Altreifenentsorger abgeholt und einer Sortierung unterzogen. Die Altreifen werden danach einer stofflichen oder thermischen Verwertung zugeführt.

### 3.3 Altreifenlogistik

Da die gesetzlichen Rahmenbedingungen einen geschlossenen Stoffkreislauf vorsehen, ist der Reifenhändler zur Rücknahme gebrauchter Reifen verpflichtet. In Tabelle 3.5 ist der Weg eines Reifens vom Verursacher bis zur Verwertung und Wiederverwendung dargestellt [7].

**Tabelle 3.5: Altreifenlogistik**

|   | Wie?  | Wer?  |
|---|---|---|
| Verwender und Verursacher von Altreifen |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- private Haushalte</li> <li>- Unternehmen</li> <li>- Landwirtschaft</li> <li>- Kommunale Einrichtungen</li> </ul>   |
| Sammelung und Entgegennahme             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Demontage</li> <li>- Lagerung</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reifenfachhandel</li> <li>- Autohaus und Kfz-Werkstätte</li> <li>- Tankstelle</li> <li>- Schrotthändler</li> <li>- Betriebshöfe</li> <li>- diverse Unternehmen</li> <li>- Haushalte</li> </ul> |
| Entsorgung                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- einsammeln</li> <li>- transportieren</li> <li>- sortieren</li> <li>- ggf. Aufbereitung</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entsorgungsunternehmen</li> </ul>  |
| Verwertung                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- werkstofflich</li> <li>- chemisch</li> <li>- thermisch</li> <li>- sonstiges (Export, Deponierung, Landwirtschaft)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Runderneuerer</li> <li>- Granulierer</li> <li>- Zementwerke und Kraftwerke</li> <li>- Chemische Industrie</li> <li>- Mineralölverarbeitung</li> <li>- Kommunale Entsorger</li> </ul>           |
| Wiederverwendung                        |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kommunen</li> <li>- Landschaftsbau</li> <li>- Schuhindustrie und Dachdecker</li> <li>- Export in das Ausland</li> </ul>  |



### 3.4 Altreifenverwertung und -entsorgung

Laut GAVS fielen im Jahr 1997 653.000 Mg Altreifen in der Bundesrepublik an. Da die statistische Auswertung des Altreifenaufkommens mit einer zweijährigen Verzögerung zu erhalten ist, decken die Daten von 1997 den aktuellen Stand der Erhebungen ab.

Abbildung 3.4 zeigt die Hauptgruppen der Verwertungs- und Entsorgungswege der im Jahr 1997 in Deutschland angefallenen Altreifen in Prozent, und in Abbildung 3.5 ist der mengenmäßige Verbleib nach Einzelposten aufgelistet [2].

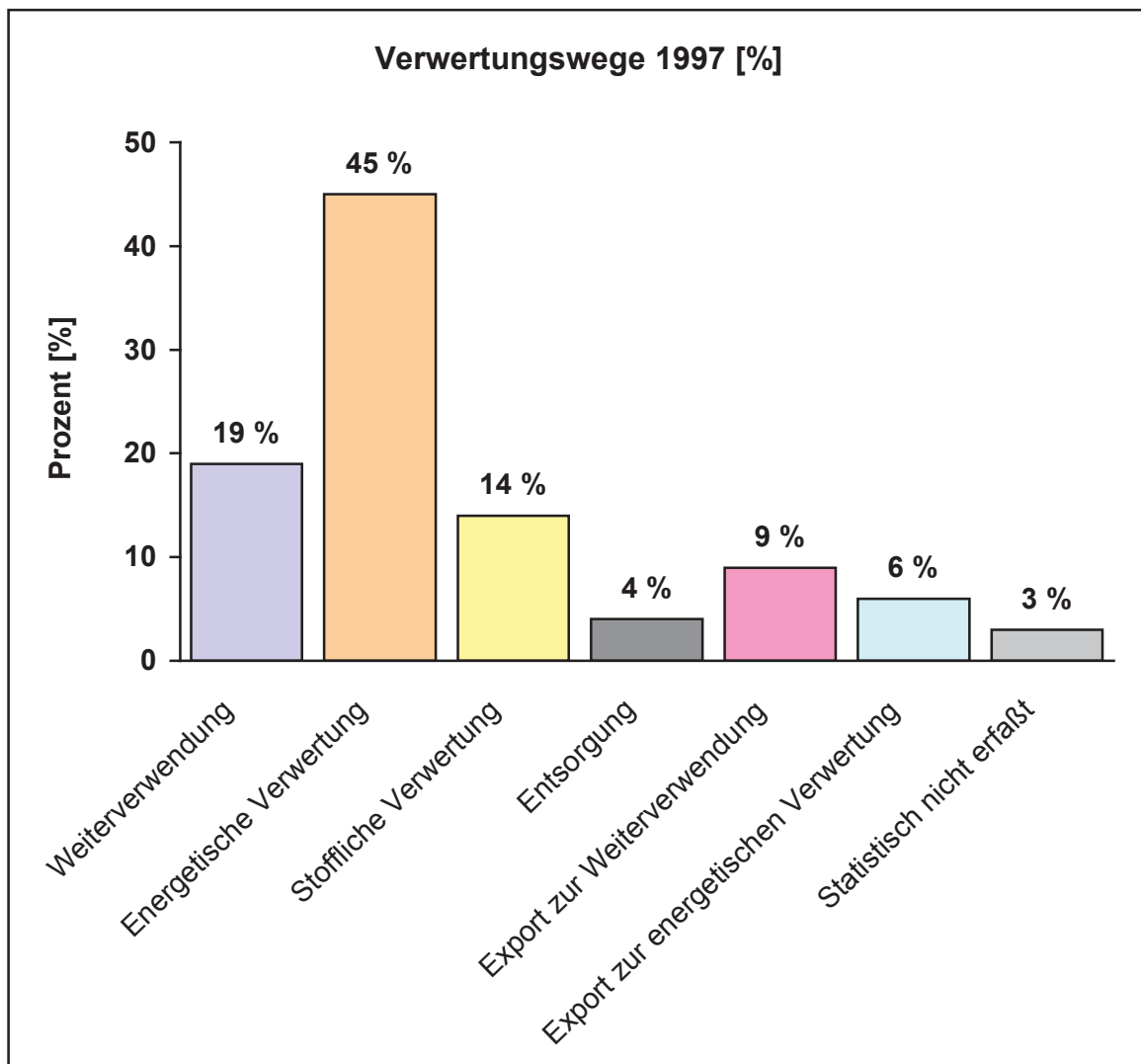


Abbildung 3.4: Verwertungswege 1997 in Prozent

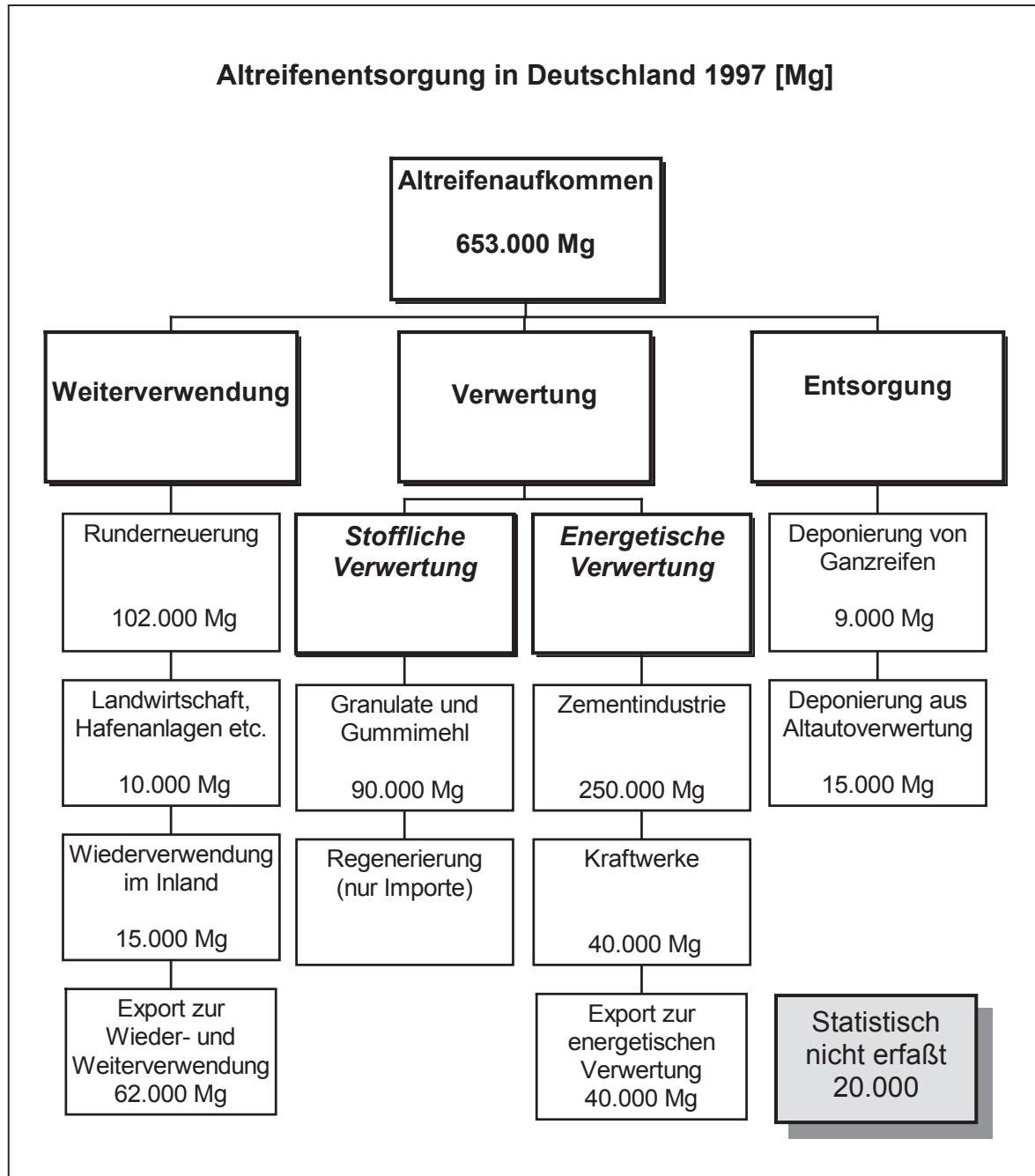


Abbildung 3.5: Mengemäßiger Verbleib 1997

### 3.4.1 Weiterverwendung

Jede Art der Weiterverwendung bringt einerseits eine Reduktion der in einer Periode zu entsorgenden Reifen und andererseits wird auch die Stückzahl der benötigten Neureifen verringert. Der tatsächliche Altreifenanfall erfährt jedoch nur eine zeitliche Verschiebung.

### 3.4.1.1 Runderneuerung

Eine der sinnvollsten Möglichkeiten der Weiterverwendung abgenutzter Reifen ist die Runderneuerung, vor allem weil dadurch die Menge der zu verwertenden und zu entsorgenden Reifen um 102.000 Mg pro Jahr verringert wird. Bei der Runderneuerung werden zum Beispiel nur 5,5 Liter Rohöl verbraucht, verglichen mit 35 Liter bei der Neureifenproduktion. Auch können 80 % des Reifens wiederverwendet werden [8]. Pkw-Reifen können einmal, Lkw- und andere Großreifen hingegen mehrmals (drei- bis siebenmal) runderneuert werden, und liefern danach für weitere drei Jahre Fahrsicherheit. Der „blaue Engel“ kennzeichnet ordnungsgemäß runderneuerte Reifen als umweltfreundliches Produkt und soll so sein Image beim Fahrzeughalter heben.

Mit aufwendigen Eignungsprüfungen wird festgestellt, ob ein Reifen die nötigen Voraussetzungen (z.B. keinerlei Beschädigungen der Karkasse, Höchstalter des Reifens von sechs Jahren) für eine Runderneuerung hat. Um die 70 % aller geprüften Reifen erfüllen diese Bedingungen nicht und müssen deshalb einer anderen Art der Verwertung zugeführt werden. Für die Runderneuerung stehen zwei Verfahren zur Auswahl: ein Heiß- und ein Kaltverfahren.

#### Heißerneuerung

Die Karkasse wird abgeraut und mit einer Bindeplatte versehen. Der Rohgummi wird in einem Guß aufgebracht, anschließend erfolgt bei ca. 160 °C die Materialbindung und Profilprägung.

#### Kalterneuerung

Die Ansprüche an den Reifen beim Kaltverfahren sind höher. Bei diesem Verfahren darf die Karkasse lediglich geringe Beschädigungen und eine gleichmäßige Abnutzung aufweisen. Die Abrauhung erfolgt flacher als beim Heißverfahren. Danach wird ein vulkanisierter Laufstreifen inklusive Bindeplatte aufgelegt. Der Bindungsprozeß erfolgt bei 90 – 100 °C. Bei der Vulkanisation wird ein Vakuum erzeugt, so daß innen und außen gleiche Druck- und Temperaturverhältnisse herrschen, und damit Deformationen des Reifens vermieden werden [9].

Die Heißerneuerung dient der Serienfertigung, die Kalterneuerung aufgrund des spezifischeren Verfahrens nur der Einzelfertigung.

### 3.4.1.2 Sonstige Wiederverwendung

Die Möglichkeiten Altreifen wieder- und weiterzuverwenden sind vielzählig. Sie finden Verwendung als Siloabdeckungen in der Landwirtschaft, Hangbefestigung zur Untergrundstabilisierung im Wegebau, Isolierung von Rohrleitungen, Einsatz im Bau und im Autobahn-

bau, Tiefbauarbeiten im Küstenschutz und Erosionsschutz. Weiterhin werden Altreifen auch in Seen versenkt, um Fischen einen Unterschlupf zu bieten, oder sie werden zum Schutz der Folien auf Deponien verwendet. Auf Kinderspielplätzen dienen sie sowohl als Schutz vor scharfen Kanten und Ecken als auch als Turngeräte und Schaukeln.

### 3.4.2 Verwertung

Stoffliche und thermische Verwertung sind nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz gleichrangig. Die stoffliche Verwertung beschäftigt sich mit der Auftrennung des Altreifens in seine drei Hauptkomponenten – Gummi, Stahl und Textil – mittels Kalt- oder Heißmahlverfahren mit dem Endprodukt Granulat. Durch anschließende thermisch/chemische Behandlung erhält man den Ersatzfüllstoff Regenerat. Die thermische Verwertung ist einer Deponierung vorzuziehen.

#### 3.4.2.1 Stoffliche Verwertung

##### a) Granulat

Bei der mechanischen Aufbereitung von Altreifen fallen Gummigranulat, Gummimehl, Stahl- und Textilreste an. Bei Granulat handelt es sich um Partikel mit einem Durchmesser von mehr als 1 mm, bei Mehl um Korngrößen kleiner 1 mm.

Gummigranulat findet unter anderem in folgenden Bereichen und Produkten Anwendung:

- Mischbestandteil in der Kautschukindustrie,
- Mischungen aus Thermoplasten und Gummi,
- Bodenbeläge, Sicherheitsbodenbeläge für Kinderspielplätze und Teppichunterlagen,
- Isolierungen, Bedachungsmaterial und Vollgummireifen,
- Innen- und Außenbeläge von Sportanlagen,
- zur Modifizierung von Asphaltmischungen (Veredelung von Bitumen mit Gummi).

Für die Gummizerkleinerung stehen entweder das Kalt- oder das Heißmahlverfahren zur Verfügung.

#### Kaltmahlverfahren (Kryogene Vermahlung)

Die, mit der Vulkanisation geschaffenen, elastischen Eigenschaften des Reifens erschweren die mechanische Auftrennung in die Bestandteile Gummi, Stahl und Textil. Mit der kryogenen

Behandlung (Kaltmahlverfahren) wird das vorgeschchnittene Material mit flüssigem Stickstoff auf bis zu minus 100 °C abgekühlt. Der elastische Zustand wird bei diesen Tieftemperaturen in einen spröden Zustand übergeführt. Es folgt eine Zerkleinerung mit Spezialmühlen und anschließend eine Abtrennung der noch im Gummigranulat bzw. Gummimehl vorhandenen Textilreste und Stahlschrott.

Ein Vorteil des Kaltmahlverfahrens ist die Umweltfreundlichkeit, da lediglich flüssiger Stickstoff und Energie in Form von elektrischem Strom verwendet werden, und keine chemischen Prozesse stattfinden. Als Nachteil ist die glatte, kleinere Oberfläche der Gummipartikel zu nennen, wodurch bei der Weiterverarbeitung gegebenenfalls die Zugabe von Additiven nötig ist. Ebenfalls negativ zu beurteilen ist der hohe Stickstoffbedarf (0,5 kg pro kg Granulat), der das Verfahren verteuert. Laut REG wird derzeit ein neues, stickstofffreies Verfahren zur kryogenen Vermahlung entwickelt, was zu einer enormen Reduktion der Betriebskosten führt [7]. In Abbildung 3.6 ist das Fließschema des Kaltmahlverfahrens dargestellt.



**Abbildung 3.6: Fließschema des Kaltmahlverfahrens**

### **Warmmahlverfahren**

Bei diesem Verfahren werden die Altreifen in zwei Hochleistungsgranulatoren auf 12 bis 14 mm selektiv zerkleinert. Das Überkorn wird abgesiebt und die eisenhaltigen Teile mittels Magnetabscheider abgetrennt. Weitere Granulatoren verringern die Korngröße auf 1 bis 6 mm. Ein Windsichter entfernt im letzten Schritt die Textilreste und das Gummigranulat steht in reiner Form als Endprodukt der Warmvermahlung zur Verfügung.

#### **b) Regenerat**

Regenerat wird, wie schon erwähnt, durch Abbau der Vulkanisationsstruktur aus Gummigranulat gewonnen. Es dient als Ersatzfüllstoff für Standardkautschuk bei der Herstellung von Neureifen. Die Vulkanisation wandelt den unvernetzten, plastischen in den vernetzten, elastischen Zustand um. Die Regenerierung bewirkt eine Art Umkehrung der Zustände. Es kommt zur chemischen Einbindung des Altgummis in die Kautschukmatrix [10].

Aufgrund der steigenden qualitativen Ansprüche an den Neureifen ist der Bedarf an Regenerat anstelle von Kautschuk in den letzten drei Jahrzehnten stark zurückgegangen.

### **3.4.2.2 Thermische Verwertung**

Bei der Mitverbrennung von Altreifen in Heizkraftwerken und in der Zementindustrie fällt Stahl als Sekundärmaterial an und kann als Schrott wiederverwendet werden. Durch ständige Kontrolle können die Schadstoffemissionen sehr niedrig gehalten werden. Die Verbrennung bewirkt eine Reduktion der Altreifenberge und eine Einsparung wertvoller Primärrohstoffe als Energieträger.

### **Zementindustrie**

Ende der 70-iger Jahre, zur Zeit der Ölkrise, war die deutsche Zementindustrie auf der Suche nach alternativen Brennstoffen. Der Reifen, mit einem Heizwert von ca. 30.000 kJ/kg, bot sich rasch als ideale Lösung an. Eine Verbrennung erfolgt im Zementwerk zu 100 %, wobei Stahl und Schwefel, wegen der hohen Temperaturen im Drehrohrofen, im Zement gebunden werden. Ein weiterer Vorteil für die Zementindustrie ist, daß die Stahlteile zu einer Qualitätsverbesserung des Zements beitragen. Der Durchsatz an Altreifen beträgt etwa 210.000 Mg pro Jahr. Andere Ersatz-Brennstoffe sind Altöl, Kunststoffabfälle, Petrolkoks, Papierfaserreststoff und Lösungsmittel.

### **Heizkraftwerk**

Die Mitverbrennung von Altreifen in Heizkraftwerken zur Strom- und Wärmeerzeugung hat ebenfalls aufgrund des hohen Brennwertes in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. In Kohlekraftwerken konnten bei diversen Versuchen bis zu 20 % Reifenanteile mitverbrannt

werden. Eine Verbrennung kann entweder als Rostfeuerung für ganze und geshredderte Reifen oder in einer Wirbelschichtfeuerung für zerkleinerte Stücke erfolgen [4].

### 3.4.2.3 Rohstoffliche Verwertung

Bei der rohstofflichen Verwertung von Altreifen sind drei Verfahren zu nennen: die Pyrolyse, die Hydrierung und die Gewinnung von Synthesegas. Diese Techniken werden im folgenden kurz beschrieben, ebenso wie ein neues biologisches Verfahren.

#### 1. Pyrolyse

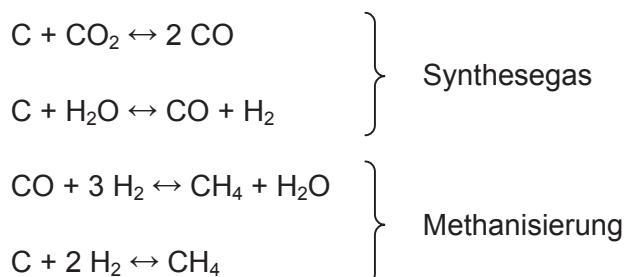
Unter Pyrolyse versteht man die Zersetzung von Stoffen (Kautschuk und Kunststoff) in ihre festen, flüssigen und gasförmigen Komponenten unter Wärmeeinwirkung unter Ausschluß von Sauerstoff. Hierbei sollen die hohen Energieanteile der Altreifen rückstandsfrei wiedergewonnen werden. Es wird zwischen Tieftemperaturpyrolyse (< 500 °C), Mitteltemperaturpyrolyse (500 – 800°C) und Hochtemperaturpyrolyse (> 800 °C) unterschieden. Als Zersetzungsprodukte können Pyrolysegas, Wasser, Öle, Teere und feste, kohlenstoffhaltige Rückstände genannt werden. Obwohl diese Methode seit mehr als 20 Jahren entwickelt wird, gibt es bis dato noch keine großtechnische Anlage, da die Pyrolyse noch zu den unwirtschaftlichen Verfahren zählt [9].

#### 2. Hydrierung

Mit dieser Technik kann aus zerkleinertem Altgummi ein hochwertiges Syntheseöl hergestellt werden. Der Vorgang erfolgt bei 400 °C und 300 bar, wobei der Gummi verflüssigt und durch Anlagerung von Wasserstoff hydriert wird. Das Öl kann dann im Raffinerieprozeß weiterverwendet werden.

#### 3. Synthesegasherstellung

Als Vergasung versteht man eine Verbrennung von organischen Molekülen in reduzierender Atmosphäre. Bei diesem Verfahren wird stückiger Altgummi mit Sauerstoff, Luft oder Wasserdampf als Vergasungsmittel bei Temperaturen bis zu 1.300 °C zu einem Synthesegas aus Kohlenmonoxid CO und Wasserstoff H<sub>2</sub> vergast.



Da der vorhandene Sauerstoff nicht ausreicht, um den Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> zu oxidieren, entsteht als Hauptprodukt ein heizwertreiches Synthesegas, welches dem Erdgas qualitativ ähnlich ist. Dieses Gas kann entweder energetisch verwendet werden oder zur Herstellung von z.B. Methangas herangezogen werden [3]. Die Wirtschaftlichkeit ist proportional der Nachfrage nach Synthesegas.

#### 4. Biologisches Verfahren

Dieses neue Verfahren versucht mit schwefelreduzierenden Mikroorganismen die Schwefelverbindungen der Vulkanisation durch Oxidation zu spalten [7]. Inwieweit sich dieses Verfahren im Rahmen der stofflichen Verwertung bewähren kann, muß abgewartet werden.

##### 3.4.2.4 Export und unbekannter Verbleib

Der Export von Altreifen findet in Länder statt, deren Qualitätsanspruch an Reifen wesentlich geringer ist. Die Ausfuhr außerhalb der Europäischen Union ist gesetzlich nur dann erlaubt, wenn bei Kontrolle nachgewiesen werden kann, daß der Gebrauchtreifen zum ursprünglichen Zweck wiedereingesetzt wird. Von allen wiederverwendbaren Altreifen (189.000 Mg) werden 33 % exportiert, was einer Menge von 62.000 Mg entspricht. In Tabelle 3.6 ist der Verbleib der ausgeführten, zur Wiederverwendung bestimmten Altreifen von 1995 aufgelistet [4].

**Tabelle 3.6: Export deutscher Altreifen nach Ländern**

| Exportland           | Menge  | Exportland        | Menge |
|----------------------|--------|-------------------|-------|
| Frankreich           | 12,5 % | USA               | 3,6 % |
| Niederlande          | 9,4 %  | Brasilien         | 5,9 % |
| Großbritannien       | 6,4 %  | Sonstiges Amerika | 3,0 % |
| Italien              | 3,4 %  | Nordafrika        | 1,9 % |
| Sonstiges Westeuropa | 11,4 % | Nigeria und Benin | 9,4 % |
| Polen                | 4,2 %  | Sonstiges Afrika  | 5,1 % |
| Tschechien           | 3,6 %  |                   |       |
| Sonstiges Osteuropa  | 11,7 % | Übrige Länder     | 6,9 % |

Trotz strenger Überprüfungen kommt es immer wieder zur illegalen Verbringung von Altreifen. Der sogenannte Mülltourismus wird auch durch Engpässe in der Verwertung und Entsorgung gefördert. Eine schnelle Entsorgung von Reifen in z.B. Ostblock- oder Dritte-Welt-Länder mag sich für einige Geschäftemacher zwar als lukrative Einkommensquelle



erwiesen haben, der Altreifen erhielt durch diese illegalen Aktionen jedoch ein negatives Image, das bis heute die öffentliche Meinung prägt.

Um diese Verschiebeaktionen so weit als möglich zu verhindern wurden strengere Vorschriften und Gesetze im Bereich der Altreifenentsorgung erarbeitet. So wurden zum Beispiel von Seiten des Umweltbundesamtes aktuelle Studien zum Thema Altreifen und deren Entsorgung herausgegeben [7]. Ein ordnungsgemäßer Altreifenentsorger kann anhand einer freiwilligen TÜV-Zertifizierung anerkannt werden. Dieses Zertifizierungssystem dient in erster Linie der Identifikation von verlässlichen Entsorgungsunternehmen und umfaßt folgende drei Berufssparten:

- Zertifizierte Reifenfachhändler: Zertifizierung bezüglich Neurreifenaktivitäten (z.B.: Lagerung, Montage) und Entsorgung (z.B.: Mengennachweis, Abgabe von Gebrauchtreifen ausschließlich an zertifizierte Entsorger).
- Zertifizierte Altreifenentsorger (Transporteur): Zertifizierung bezüglich Betriebsgenehmigung, Betriebstagebuch und Betriebshandbuch, Auditbeauftragter, Lagerstätte, Versicherungsschutz, Unbedenklichkeitsbescheinigung, sowie Einhaltung der Vorschriften im grenzüberschreitenden Verkehr.
- Altreifenverwerter: Überprüfung bezüglich genehmigungspflichtiger Anlagen (Genehmigung nach BImSchG, Teilnahme am Zertifizierungssystem) und nichtgenehmigungspflichtiger Anlagen (Teilnahme am Zertifizierungssystem).

1997 waren bereits 38 Betriebe mit einer Entsorgungskapazität von 140.000 Mg pro Jahr im Zertifizierungssystem [11].

Mit einer vermehrten Zahl an Gesetzesvorlagen, Verordnungsentwürfen und Reglementierungen allein ist das Problem zu knapper Verwertungs- und Entsorgungskapazitäten jedoch noch nicht gelöst. Solche Engpässe führen zu hohen Verwertungs- bzw. Entsorgungskosten, was den illegalen Export forciert. Die Kapazität der Altreifenverwertung konnte jedoch in den vergangenen Jahren um ein wesentliches ausgeweitet werden [7].

### 3.4.3 Entsorgung

Weder Deponierung noch Müllverbrennung stellen geeignete Entsorgungsoptionen für Altreifen dar. Im Folgenden werden die Nachteile beider Möglichkeiten kurz beschrieben.

#### 3.4.3.1 Deponierung

Das jährliche Altreifenaufkommen zu deponieren ist eine der ökologisch und ökonomisch schlechtesten Verwertungsarten. Da ein Reifen ein relativ großes Volumen, dauerelastische Eigenschaften und eine Verrottungszeit von über 100 Jahren aufweist, erschöpft er den

vorhandenen, knappen Deponieraum relativ rasch [11] Auch kann keine angemessene Verdichtung durchgeführt werden, was zu Problemen bei späterer Oberflächennutzung führen kann. Auf Deponien kann es zur Selbstentzündung der abgelagerten Reifen kommen, welche nur sehr schwierig wieder gelöscht werden können.

Schätzungen zufolge werden weltweit etwa 70 % aller Altreifen auf Deponien abgelagert [9].

### **3.4.3.2 Müllverbrennung**

Bei der Verbrennung von Abfällen können Altreifenschnitzel als Stützfeuerung verwendet werden. Aufgrund der getrennten Sammlung der Abfallfraktionen sinkt einerseits der Heizwert des Hausmülls und andererseits kommt es zum ständigen Anstieg der Naß- und Inertanteile. Für den Betrieb einer Müllverbrennungsanlage ist es daher notwendig, über eine ausreichende und preiswerte Stützfeuerung zu verfügen. In Schweden ist das Altreifenaufkommen so gering, daß geshredderte Altreifen aus Deutschland importiert werden müssen, um den nötigen Heizwert für die Verbrennungsanlagen erreichen zu können [7].



## 4 Gummimodifizierung im Asphaltstraßenbau

Straßen dienen dem sicheren, wirtschaftlichen, leistungsfähigen und umweltfreundlichen Transport von Personen und Gütern. Die Anforderungen an Straßenbeläge sind in den letzten Jahrzehnten vielschichtiger geworden, wobei folgende Anforderungen von der Straße erfüllt werden müssen:

- Verkehrssicherheit: Ebenheit, Griffigkeit bei trockener und nasser Fahrbahn, Sicht bei nasser Fahrbahn und Sprühhahnenreduktion,
- Gebrauchsdauer: Betriebssicherheit, Tragfähigkeit, Verformungsbeständigkeit sowie geringer und schneller Reparaturaufwand,
- Umweltverträglichkeit: Lärminderung, Wiederverwendbarkeit und Abriebreduktion,
- Wirtschaftlichkeit: Herstellkosten, Erhaltungskosten, wirtschaftlicher Nutzen und Nutzungsdauer [13].

Aufgrund steigender Verkehrsdichte und -geschwindigkeiten muß die Verkehrssicherheit beim Neubau und auch bei der Erhaltung von Straßen sichergestellt werden. Vor allem in dicht besiedelten Gebieten muß auf die Qualität in Hinblick auf die Straße erhöht Wert gelegt werden. Die Umwelt muß vor gesundheitsgefährdenden Einflüssen des Straßenverkehrs wie Verkehrslärm, Verschmutzungen von Luft und Gewässern, Beeinträchtigung von Fauna und Flora ausreichend geschützt und abgeschirmt werden.

Das steigende Verkehrsaufkommen bedingt eine raschere Abnutzung und Alterung der Straßenoberflächen. Rißbildung und Spurrinnen, welche zu Sprühhahnen und Aquaplaning bei regennassen Fahrbahnen führen, vermindern die Verkehrssicherheit erheblich.

Straßeninstandhalter, Fahrzeug- und Reifenindustrie sind seit Jahrzehnten bemüht, die Sicherheit auf der Straße bei gleichzeitiger Verringerung der Belastungen der Umwelt zu erhöhen. Obwohl lärmdämmende Bauwerke, wie Lärmschutzwände, eine Reduktion des Geräuschpegels abseits der Straße bewirken, muß dennoch der Straßenbelag so verbessert werden, daß der Lärm bereits an der Quelle vermindert wird.

### 4.1 Geschichtliche Entwicklung

Vor rund 50 Jahren begann die Entwicklung der sogenannten Drainasphaltbauweise. Nach ausgiebigen Untersuchungen im Labor wurden die ersten Teststrecken auf Straßen und Flugplätzen errichtet. Neben der erhofften Reduktion des Aquaplanings wurde auch beobachtet, daß der Belag keine Empfindlichkeit gegenüber Frost aufwies. Weiterhin wurde festgestellt, daß die Abrollgeräusche reduziert werden. Weitere Versuche in Großbritannien, Skandinavien, Holland und Belgien konnten den zusätzlichen Vorteil bestätigen [14].

Anfang der 60-iger Jahre wurden Rollbahnen auf britischen Flughäfen versuchsweise mit Drainasphalt, der über eine offene Oberflächenschicht verfügt, ausgeführt. Man wollte die Risiken des Aquaplanings bei Start und Landung minimieren. Da ein positives Ergebnis erzielt wurde, folgte eine Anwendung auf Straßen. Da die Qualität des verwendeten Bitumen nicht hochwertig genug war, konnte der erhoffte Erfolg nur über kurze Zeit erzielt werden, und das Projekt wurde wegen zu hoher Reparaturkosten fallengelassen.

In vielen Industrieländern wurden Versuche zur Verbesserung der Asphalteigenschaften durch Zugabe von Gummigranulat gestartet. Durch das Einmengen von Gummipulver in das Asphaltmischgut konnten die elastischen Eigenschaften der Deckschicht erhöht werden. Da es meist an der Qualität des Granulats mangelte, konnten auch hier keine nennenswerten Erfolge verzeichnet werden [15].

Zur selben Zeit wurden auch in Phoenix, Arizona, USA, Teststrecken errichtet. Es wurde nur Gummipulver von ausgesuchter Qualität bezüglich Zusammensetzung, Reinheit, Kornform und Korngrößenverteilung verwendet. Durch die Entwicklung einer neuen Technologie konnten durch die gezielte Verkettung von Gummi und Bitumen optimale, bisher unerreichte Qualitäten verzeichnet werden. Der sogenannte Rubber-rized-asphalt war geboren. Die Patentrechte wurden vom Exxon-Konzern erworben, welcher seit 1974 dieses Spezialbindemittel vertreibt [16].

Seit 1981 wird das mit aufbereitetem Altreifengummi modifizierte Bitumen auch auf Europas Straßen verwendet. Vorreiter waren hierbei Belgien und Frankreich. Drainasphalt findet heute in vielen Ländern der Welt bei unterschiedlichsten klimatischen Bedingungen Anwendung.

## 4.2 Anforderungen und Eigenschaften an Drainasphalt

Bei Drainasphalt handelt es sich um eine offenporige, wasserdurchlässige Asphaltdeckschicht. Er findet aufgrund folgender positiver Eigenschaften vermehrt Anwendung im Straßenbau:

- Lärminderung,
- Drainagefähigkeit,
- Verminderung von Aquaplaning, Sprühhahnen und Blendwirkung in der Nacht,
- verbesserte Sichtbarkeit der Straßenmarkierungen,
- erhöhter Fahrkomfort, weniger Ermüdung des Fahrers,
- günstigere Temperaturverteilung in den darunterliegenden Schichten durch die Isolierwirkung der Hohlräume.

Ein spezifisches Charakteristikum von Drainasphalt ist der Hohlraumgehalt im eingebauten Zustand von über 20 Vol.-%. Dies wird in etwa mit der folgenden Zusammensetzung des Mischgutes erreicht:

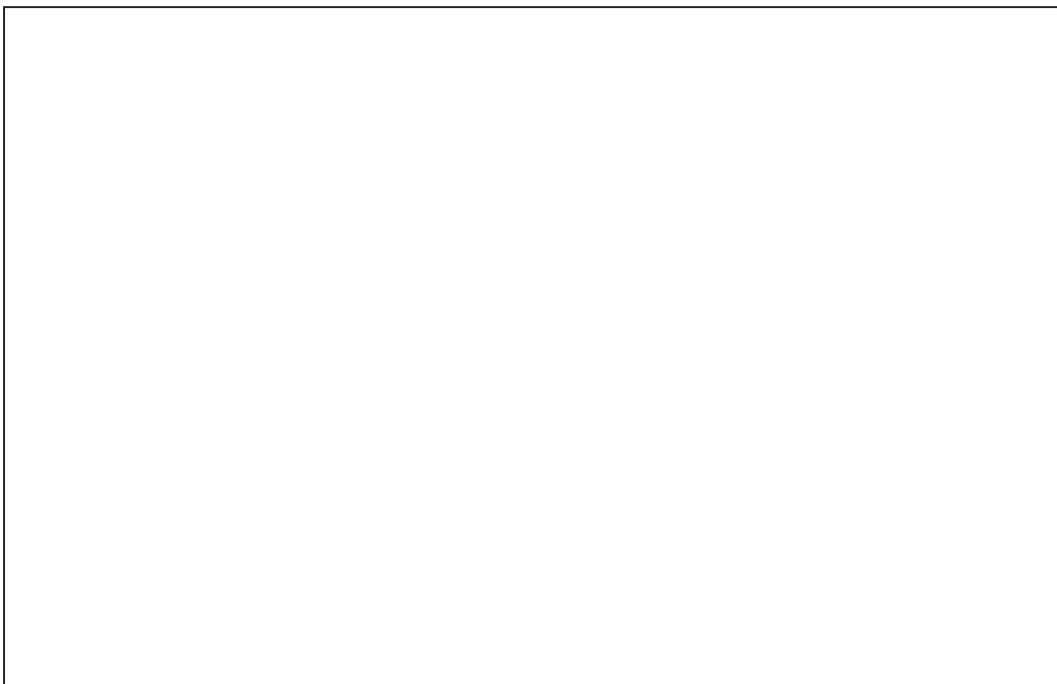
- mind. 85 Gew.-% Splitt,
  - max. 10 Gew.-% Sand,
  - max. 5 Gew.-% Füller,
  - zusätzlich 5 – 7 Gew.-% Bitumen.
- } 100 Gew.-%

Drainasphalte werden auf einer dichten Unterlage aufgebracht. Aufgrund ihres ausgeprägten Hohlraumsystems hat das Oberflächenwasser die Möglichkeit, vertikal in die Drainageschicht abzufließen. Dadurch wird die Bildung eines geschlossenen Wasserfilms an der Oberfläche unterbunden, wodurch die Gefahr des Aquaplanings und der Sprühhahnenbildung entfällt. Das Wasser wird anschließend mittels Entwässerungseinrichtungen abgeführt. Kommt es jedoch aufgrund übermäßiger Regenfälle zu einer Überlastung der Drainageschicht, wird das gefürchtete Aquaplaning trotzdem nicht auftreten. Durch den Druck der Fahrzeuge auf die Straßenoberfläche wird das Wasser in die darunterliegenden Hohlräume gepreßt. Aufgrund des Verbindungssystems wird das Wasser an einer anderen, widerstandsfreien Stelle wieder an die Oberfläche gedrückt. Der Reifen verliert dabei nie seinen Kontakt zum Straßenbelag.

Auf den folgenden zwei Abbildungen ist die unterschiedliche Wasseraufnahmefähigkeit von einem konventionellen Belag gegenüber einem speziellen Drainasphalt, dem sogenannten Flüster-Asphalt®, zu erkennen. Bei einem herkömmlichen Straßenbelag verbleibt das Wasser so lange auf der Oberfläche, bis es aufgrund des vorhandenen Gefälles seitlich abgelaufen ist (Abbildung 4.1). Der Drainasphalt hingegen besitzt wegen seiner ausgeprägten Hohlraumstruktur die Fähigkeit, das Wasser sofort vollständig aufzunehmen (Abbildung 4.2). Dadurch ist einerseits die Aquaplaninggefahr gebannt und andererseits bilden sich keine Sprühhahnen mehr aus. Auch können die Fahrzeugreifen bei Regen beinahe so gut haften wie auf trockener Straße.



**Abbildung 4.1: Wasseraufnahmefähigkeit von konventionellem Straßenbelag**



**Abbildung 4.2: Wasserhaltevermögen von Flüster-Asphalt®**

Wegen des höheren Hohlraumgehaltes gegenüber einem dichten Straßenbelag kann von der Oberfläche mehr Scheinwerferlicht absorbiert werden. Das Licht trifft auf die vertikalen, schwarzen Seitenwände der Hohlräume auf, und wird von diesen absorbiert. Durch diese zusätzliche Lichtabsorption wird die Verkehrssicherheit erhöht, da Gegenstände und Hindernisse auf der Fahrbahn besser erkannt werden können.

Beim bituminösen Drainasphalt kann zwischen zwei Bauweisen unterschieden werden (englische Bezeichnung):

- pfc (pervious friction course) und
- pwc (pervious wearing course).

Bei pfc handelt es sich um 2 cm dünne Schichten, welche in den USA und Südafrika Anwendung finden. Pwc hingegen sind Deckschichten mit einer Stärke von 4 bis 5 cm. Sie werden vor allem in Europa und Japan eingesetzt. Eine Verringerung des Straßenlärms tritt zwar schon bei einer Schichtdicke von 2 cm ein, wird aber mit zunehmender Stärke erhöht. Aus diesem Grund werden in Gebieten mit höherer Bevölkerungsdichte dickere Deckschichten aufgebracht [17].

Wenn Drainaspalte aufgebracht werden, welche die optimalen Qualitätsansprüche nicht erfüllen, wird die Lebensdauer des Belags aufgrund mechanischer Zerstörung verringert. Aus der daraus resultierenden Verringerung der Poren und Hohlräume kann der Verkehrslärm nicht mehr ausreichend absorbiert werden. Die Funktion und Gebrauchsdauer von Drainasphalt ist im wesentlichen vom Gestein, dem Bindemittel, der Membran und einer optimalen Verarbeitung abhängig. Weiterhin sind spezifische Drainasphaltuntersuchungen vor der Aufbringung durchzuführen.

Ein wesentlicher umweltpolitischer Aspekt, der für die vermehrte Verwendung von gummi-modifiziertem Drainasphalt anstelle herkömmlicher Straßenbeläge spricht, ist die damit verbundene hochwertige Wiederverarbeitung von Altreifen. Es kann somit auf die Verwendung von neu produzierten Polymeren aus wertvollen Rohstoffen verzichtet werden. Für die Herstellung von einem Kilometer Vollautobahn<sup>1</sup> werden 220 Mg gummi-modifiziertes Bitumen benötigt, wofür wiederum ca. 6.000 Altreifen recycelt werden.

Als weitere Vorteile von qualitativ hochwertigem Drainasphalt sind längere Nutzungsdauer des Belages, kürzere Bauzeit, längere Erneuerungsintervalle und Energieeinsparung bei der Produktion anzuführen [15].

---

<sup>1</sup> Eine Vollautobahn besteht aus zwei Richtungsfahrbahnen mit je zwei Fahrspuren und einem Standstreifen.



### 4.3 Flüster-Asphalt®<sup>2</sup>

Flüster-Asphalt® gehört zur Gruppe der hochwertigen Drainaspalthe, welcher eine hohe Verkehrssicherheit und geringe Lärmemission bietet. Aus diesem Grund wird er auch lärm-mindernder Drainasphalt genannt. Flüster-Asphalt® ist eine zweischichtige, offenporige Asphaltfahrbahndecke, bei der ein hochelastisches, gummimodifiziertes Bindemittel verarbeitet wird.

Das System Flüster-Asphalt® besteht aus einer SAMI-Schicht und einer Drainasphalt-deckschicht (Abbildung 4.3). SAMI (stress absorbing membran interlayer) ist eine Zwischenschicht, die auf die vorhandene Betondecke oder Asphaltfahrbahn aufgebracht und mit Flüster-Asphalt® überdeckt wird. Sie nimmt Bewegungen aus der Tragschicht auf und wirkt spannungsausgleichend. Dadurch verhindert sie einerseits eine Rißbildung an der Deckschicht aufgrund von Untergrundbewegungen, und andererseits eine Fortpflanzung schon vorhandener Risse in die Deckschicht. Eine weitere Aufgabe dieser Membran ist der Schutz der darunterliegenden Schichten vor dem Eindringen von Feuchtigkeit, Oberflächenwasser und Salzfrachten. Das Verhalten einer SAMI-Schicht kann mit dem einer widerstandsfähigen abdichtenden Gummimatte verglichen werden.



**Abbildung 4.3: Aufbau von Flüster-Asphalt®**

---

<sup>2</sup> Bei Flüster-Asphalt® handelt es sich um einen geschützten Namen der Firma CTS Bitumen GmbH, Buch am Erlbach, Deutschland.

### 4.3.1 Charakteristika lärmindernder Beläge

In den folgenden Absätzen wird der wesentliche Unterschied zwischen Drainasphalt im Allgemeinen und Flüster-Asphalt® erklärt.

Bei der Wahl des Gesteins ist zur Erhaltung der Drainagefähigkeit vor allem auf Kornform und Größtkorn zu achten. Mit einer kubischen Kornstruktur kann eine gleichmäßige Verteilung und durchgängige Verbindungen aller Einzelporen erreicht werden. Auch verhindert die optimale Sieblinie das Zusetzen der Poren. Das Resultat ist ein Belag, der langfristig funktionstauglich bleibt.

Das optimale Größtkorn muß als Kompromiß zwischen der bestmöglichen Lärmreduzierung und der Erhaltung der Drainagefähigkeit gefunden werden. In manchen Fällen kann es auch sinnvoll sein, den Belag zweilagig auszuführen. Bei Flüster-Asphalt® wird bevorzugt Größtkorn von 11 mm, manchmal auch 8 mm, verwendet, was eine bessere Haltbarkeit als Drainasphalt mit einem Durchmesser von 5 - 16 mm Größtkorn liefert. Durch die damit geschaffene Hohlraumstruktur entsteht eine Drainageschicht bei gleichzeitiger Lärminderung. Neben der Wichtigkeit des Größtkorns für die Geräuschminderung spielt auch die Ebenflächigkeit des Belages eine entscheidende Rolle.

Um die nötigen, gleichmäßig verteilten Hohlräume zu erhalten, muß das Mischgut folgende Zusammensetzung aufweisen:

- Größtkorn von 11 mm, in Ausnahmefällen 8 mm,
- Splittgehalt 8/11 mm von mind. 85 – 90 Gew.-%,
- Sand- und Füllergehalt von max. 10 – 15 Gew.-%.

Wenn diese drei Kriterien erfüllt sind, kann ein Hohlraumgehalt von bis zu 25 Vol.-% erreicht werden. Allgemein gilt folgender Grundsatz: je höher der Hohlraumgehalt des Belages, desto größer ist seine lärmindernde Wirkung.

Beim Bindemittel muß auf Art und Menge geachtet werden. Drainasphalte verwenden PmB<sup>3</sup> (polymermodifiziertes Bitumen) und Flüster-Asphalt® gummimodifiziertes Bitumen. Aufgrund der vorhandenen Hohlräume kann es zu keiner großflächigen Berührung des Splitt kommen. Das Bindemittel hat die Aufgabe, die Splittteilchen gegen die vielfältigen mechanischen Beanspruchungsarten durch den Verkehr, wie ein Klebstoff dauerhaft miteinander zu verbinden. Die Elastizität darf hierbei nicht verloren gehen. Die Menge an Bindemittel ist so zu bemessen, daß die Körner mit einem genügend dicken Film überzogen sind. Der Film gibt

---

<sup>3</sup> PmB, polymermodifiziertes Bitumen, ist eine Mischung aus Bitumen und neu hergestellten Kunststoffen

dem Drainasphalt ausreichend Schutz gegen Oxidation, Alterung, Verhärtung und Versprödung [13].

Als Zusatzstoffe werden Faserstoffe, Gummigranulate, etc. beigemischt. Bei Drainasphalten wird als Bindemittel PmB mit Zellulosefasern beigemischt. Untersuchungen haben gezeigt, daß einige PmB das Alterungsverhalten beschleunigen können. Durch Zugabe von Zellulosefasern kann der Bindemittelgehalt zwar erhöht werden, die Gesamtqualität des Bindemittels wird durch die Fasern jedoch verringert [15].

Hauptunterscheidungsmerkmale von Flüster-Asphalt® zu herkömmlichem Drainasphalt:

#### 1. Gestein:

- Drainasphalt hat geringere spezielle Anforderungen an Kornform oder Sieblinie.
- Bei Flüster-Asphalt® ist die Kornform kubisch. Es wird etwa 90 % Splitt der Größtkorngruppe verwendet, mit eingeschränkten Toleranzen für Über- und Unterkorn.

#### 2. Hohlraumgehalt

- Bei Drainasphalt beträgt der Hohlraumgehalt mindestens 18 Vol.-% und
- Flüster-Asphalt® verlangt mindestens 22 Vol.-%.

#### 3. Bindemittelgehalt

- Bei Drainasphalt werden PmB mit Zellulosefasern verwendet, um einen Bindemittelgehalt von 5,2 % zu erreichen.
- Bei Flüster-Asphalt® wird ein hochviskoses Spezialbitumen verwendet. Eine Faserzugabe zur Stabilisierung des Bindemittels ist daher nicht erforderlich. Es wird ein Bindemittelgehalt von ca. 6,5 M.-% erzielt.

#### 4. Bindemittelart

- Dem Drainasphalt können fast alle PmB beigegeben werden.
- Bei Flüster-Asphalt® wird ein gummimodifiziertes Spezialbindemittel verwendet. Dieses ist extrem alterungsbeständig und besitzt eine höhere Klebkraft zum Gestein als PmB, sowie ein besseres Tieftemperaturverhalten.

Eine wichtige Rolle spielt die gleichbleibende, exakte Dosierung. Nur so kann die Einhaltung eines zuvor festgelegten Hohlraumgehaltes sichergestellt werden.

Durch Laborversuche können Prognosen über die Haltbarkeit des lärmindernden Drainasphaltes abgegeben werden. Die Haltbarkeit ist bei Flüster-Asphalt® aufgrund der hohen Bindemittelmenge und Bindemittelqualität etwa doppelt so hoch wie bei herkömmlichem Drainasphalt mit PmB. Dies kann auch durch jahrelange Beobachtungen bestätigt werden. Wie schon erwähnt, wird eine lange Funktionalität durch die Wahl der optimierten Sieblinie und der daraus resultierenden offenen Porenstruktur erreicht. Dadurch werden etwaige Reinigungskosten minimiert und die Lärminderung bleibt erhalten. Auf wesentlich teurere Lärmschutzmaßnahmen kann ebenfalls aufgrund der langen Haltbarkeit verzichtet werden.

Auch müssen nach Fertigstellung der Strecke entsprechende Untersuchungen durchgeführt werden. Es sind hierbei Lärmmessungen, Durchlässigkeitsmessungen sowie Aufzeichnungen über den Winterdienst nötig. Gegebenenfalls müssen auch Erhaltungsarbeiten durchgeführt werden. Diese müssen entsprechend protokolliert und ausgearbeitet werden.

### 4.3.2 Spannungsverhalten anhand des Dreischichtensystem

Das Auftreten von Reflexionsrissen in Fahrbahndeckschichten wird durch thermische Spannungen, Scher- und Effektivspannungen hervorgerufen. Das Forschungszentrum des Verkehrsministeriums von Arizona in den USA beschäftigt sich unter anderem mit den Möglichkeiten zur Sanierung von alten schadhafte Betonfahrbahnen. Die Zusammenhänge zwischen

- thermischen, horizontalen Dehnspannungen und der Deckschichtstärke, sowie
- Scher- und Effektivspannungen und der Deckschichtstärke

wurden eingehenden Untersuchungen unterzogen.

In verschiedenen Feldversuchen wurden Oberflächenabdeckungen mit Gummibitumen auf starren Straßenbelägen zur Vermeidung von Reflexionsrissen geprüft. Hierbei handelt es sich um das sogenannte Arizona-Dreischichtensystem, das aus zwei gummimodifizierten Asphaltsschichten mit einer dazwischen aufgetragenen SAMI-Schicht besteht (Abbildung 4.4). Auf die zu reparierende Fahrbahn wird eine Ausgleichsschicht aufgebracht, welche eine weiche Unterlage für die spannungsabsorbierende SAMI-Schicht darstellt. Obenauf wird die Deckschicht aufgetragen.



#### **Abbildung 4.4: Arizona-Dreischichtensystem**

Dieses Dreischichtensystem wurde auf einem Interstate Highway in Arizona als Versuchsstrecke über einen Zeitraum von zwei Jahren erprobt. Der durchschnittliche Verkehr betrug annähernd 100.000 Fahrzeuge pro Tag. Der Anteil an Lkws und diversen Wirtschaftsfahrzeugen betrug 9 %. Am Ende der Untersuchungen konnten nur wenige sichtbare Reflexionsrisse verzeichnet werden. Diese Risse waren von schlanker Form und erforderten nur geringe Instandhaltungsmaßnahmen.

Vergleiche des Arizona-Dreischichtensystems mit einer Asphaltdeckschicht ohne SAMI brachten folgende Ergebnisse:

- Bei der Asphaltdeckschicht ohne SAMI wurden wesentlich höhere thermische Scher- und Effektivspannungen gemessen als bei einer Deckschicht mit gummi-modifizierter SAMI-Schicht.
- Die SAMI-Schicht unterbindet eine Fortpflanzung bestehender Risse in die darüber liegende Fahrbahndeckschicht.

Hohe thermische Scher- und Effektivspannungen führen zu Rißbildungen und damit zur Ablösung des Belags mit Schlaglochbildung. Diese Spannungen können durch eine stressabsorbierende Zwischenschicht erheblich verringert werden. In der folgenden Abbildung 4.5 wird eine herkömmliche bituminöse Überbauung ohne SAMI, dem Arizona-Dreischichtensystem mit SAMI, gegenübergestellt, und deren Auswirkung auf die Dehnspannungen verglichen.



**Abbildung 4.5: Zusammenhang zwischen thermischen horizontalen Dehnspannungen und der Deckschichtstärke**

Bei einer Asphaltdeckschicht ohne SAMI beträgt die maximale horizontale Dehnspannung 20 MPa. Der Gegenüberstellung aus Abbildung 4.5 ist zu entnehmen, daß bereits eine 4 cm starke Asphaltdeckschicht in Kombination mit einer gummimodifizierten SAMI eine deutliche Reduktion der thermischen Spannungen auf ca. 3 MPa bewirken kann. Bei Deckschichten exklusive SAMI werden die Dehnspannungen in Abhängigkeit zur gesteigerten Schichtdicke reduziert. Um in etwa gleich geringe Dehnspannungen zu erreichen, muß die Deckschicht als 18 cm starke bituminöse Überbauung ausgeführt werden.

Auch ist der Abbildung 4.5 zu entnehmen, daß beim Arizona-Dreischichtensystem die thermischen horizontalen Dehnspannungen absolut unabhängig von der Deckschichtstärke sind. Eine 15 cm dicke Deckschicht erzielt keine weitere Spannungsreduktion, erhöht also lediglich die Kosten pro Quadratmeter.

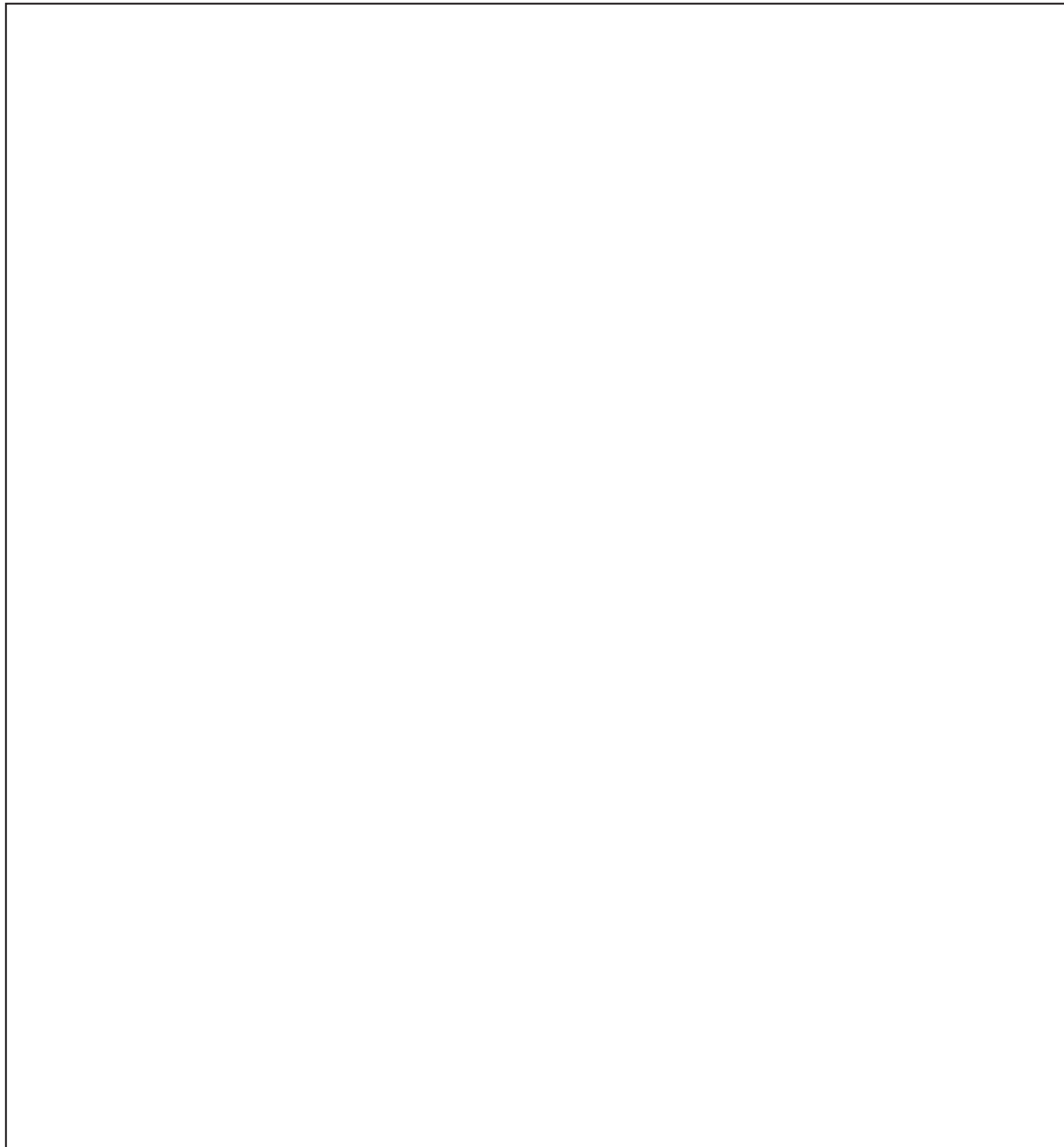
Eine totale Reduktion der Horizontalspannungen kann jedoch weder durch eine SAMI noch durch ein anderes System erreicht werden. Ein Großteil der Spannungen aufgrund von thermischen Ausdehnungen oder Schrumpfungen wird von der Ausgleichsschicht aufgenommen. In dieser kann es schon zur Bildung von Rissen kommen.

SAMI-Schichten können zusätzlich zu den thermisch bedingten Spannungen auch vertikale Scherspannungen in Abhängigkeit von der sich bewegenden Verkehrslast reduzieren.

Abbildung 4.6 zeigt die Abhängigkeit der Scherspannungen von der Deckschichtstärke. Bei einer Kombination aus einer 4 cm dicken Asphaltdeckschicht und einer SAMI-Schicht treten sechs mal geringere Scherspannungen über der Fuge auf als bei einer herkömmlichen bituminösen Überbauung gleicher Stärke ohne SAMI. Die Folge ist eine Minimierung des Reflexionsreißen.

Spannungen, die aufgrund einer vorhandenen Fuge in die darüber aufgebrauchten Deckschichten übertragen werden, lassen sich durch eine streßabsorbierende Zwischenschicht bis zu 95 % und mehr reduzieren. Die Gebrauchsdauer des Dreischichtensystems kann somit verlängert werden.

Für starre Straßenbeläge (Betondecken) hat sich das Arizona-Dreischichtensystem als Oberflächenabdeckung bewährt. Eine qualitative Steigerung von Fahrverhalten und Fahr-sicherheit konnte dadurch auf der zu korrigierenden alten Straßendecke erzielt werden. Diese Verbesserung ist einerseits auf die gummimodifizierte Asphaltdeckschicht und andererseits auf die positive Wirkung der SAMI-Schicht zurückzuführen.



**Abbildung 4.6: Zusammenhang zwischen der Scherspannungen und der Deckschichtstärke**

Abschließend ist noch zu erwähnen, daß der richtige Auftragsmenge der SAMI eine hohe Bedeutung zukommt. Zu große Mengen bewirken eine Instabilität des Dreischichtensystems. Untersuchungen zufolge können die besten Resultate mit einer Menge von 2,72 l/m<sup>2</sup> erzielt werden [15].

### 4.3.3 Anwendungsbereiche von gummimodifiziertem Bitumen

Gummimodifiziertes Bitumen findet Anwendung als Membran (SAM- und SAMI-Schicht), Deponieabdichtung, offenporige Asphalte und Splittmastixasphalte. Weiterhin dient es zur Instandsetzung von schadhafte Fahrbahndecken mittels Überbauung. In den nächsten fünf



Unterkapiteln (4.3.3.1 – 4.3.3.5) wird genauer auf die genannten Verwendungsmöglichkeiten eingegangen [17].

#### 4.3.3.1 SAM- und SAMI-Schichten

Nachdem Risse festgestellt werden, müssen sie so schnell wie möglich überbrückt werden, um größere Schädigungen zu vermeiden. Mit einer Membran wird eine dauerhafte Absiegelung erreicht.

Es sind zwei Arten von Membranen zu nennen:

- SAM, eine Streß Absorbierende Membran und
- SAMI, eine Streß Absorbierende Zwischenschicht.

Hierbei handelt es sich um spannungs- und lärmabsorbierende Oberflächenschutzschichten, die zur Beschichtung von starren oder flexiblen Straßendecken verwendet werden.

Sie können vorhandene Risse mit einer Breite bis zu 5 mm ausgleichen und eine Rißfortpflanzung zufriedenstellend verzögern. Zusätzlich bilden sie einen flüssigkeitsabweisenden Oberflächenabschluß zum Schutz der darunterliegenden Schichten. Die SAM-Schicht ist eine Oberflächenversiegelung, die nach Fertigstellung direkt dem Verkehr ausgesetzt ist. Diese Methode zur Behebung von Fahrbahnschäden findet in den USA vor allem im untergeordneten Straßennetz Anwendung. In Europa wird kaum mit der SAM-Schicht gearbeitet.

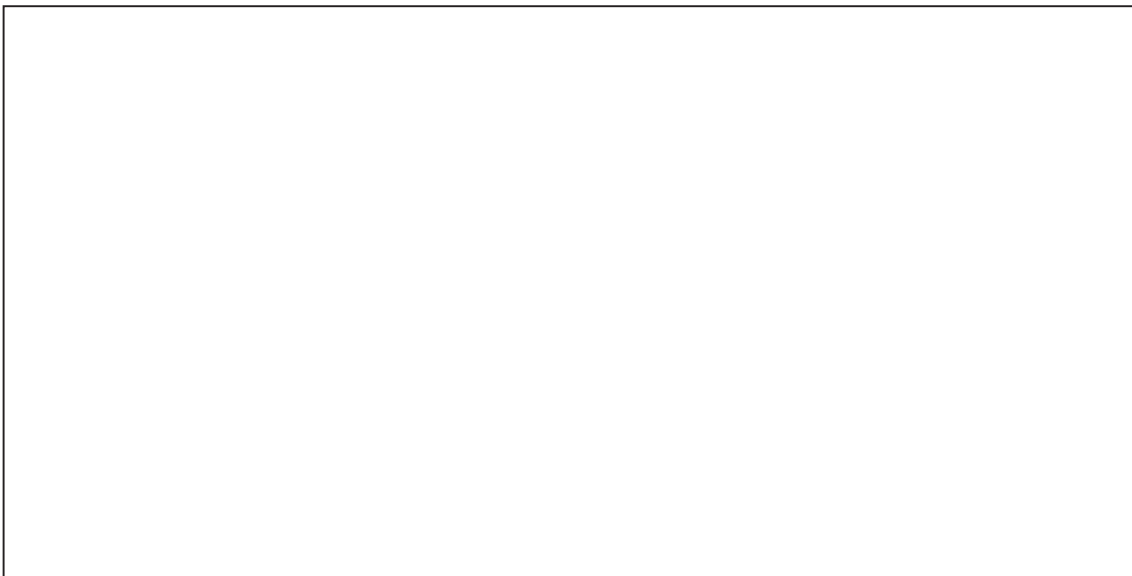
Die SAMI stellt eine Membran bzw. eine Zwischenschicht dar, die Spannungen absorbiert und Risse bis zu einer Breite von 5 mm ausgleichen kann. Sie besteht aus hochelastischem Bitumen, und wird auf einer gereinigten, trockenen Unterlage aufgebracht. Die Temperatur des Bindemittels muß ca. 200 °C betragen, um die Viskosität gering zu halten. Die optimale Einbaumenge beträgt 2 bis 3,5 kg/m<sup>2</sup>. Auf diese Schicht wird vorumhüllter Splitt der Korngröße 5/8 oder 8/12 aufgebracht [18].

Bei der SAM-Schicht ist eine besonders sorgfältige Verarbeitung notwendig, da diese einer direkten mechanischen Belastung ausgesetzt wird. Der Splitt muß daher so optimal wie möglich mit dem Gummibitumen verbunden sein, um eine langfristige Stabilität der Deckschicht gewährleisten zu können. In der folgenden Abbildung 4.7 ist die Schichtenfolge der SAM dargestellt.



**Abbildung 4.7: SAM-Schicht**

Bei der SAMI-Schicht hingegen sind etwas größere Reserven bei der Herstellung gegeben. Hier wird auf den vorumhüllten Splitt noch eine Drinaspaltschicht oder Splittmastixasphalt aufgebracht, und somit ist die Membran keiner unmittelbaren Verkehrsbelastung ausgesetzt. Abbildung 4.8 zeigt den Aufbau dieser Schicht.



**Abbildung 4.8: SAMI-Schicht**

### 4.3.3.2 Deponiebau

In der Bundesrepublik wird zur Abdichtung von Deponien eine mineralische Dichtung in Kombination mit einer Kunststoffolie verwendet. Einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zufolge ist seit dem 14.08.1998 Asphalt als Deponieabdichtung gestattet.

Die Voraussetzung für die Verwendung von gummimodifiziertem Bitumen in SAMI-Schichten auf Deponien ist die ausreichende Widerstandsfähigkeit gegenüber biologischen, chemischen und physikalischen Beanspruchungen.

Ausreichenden Untersuchungen zufolge erfüllt Gummibitumen die notwendigen Anforderungen. Der Unterschied und gleichzeitige Vorteil gegenüber herkömmlichen Kunststoffdichtungsbahnen liegt in der fugenlosen Verlegung. Auch bei extremen geometrischen Voraussetzungen ist somit eine sichere Dichtigkeit gegeben. Die geringere Zugfestigkeit kann durch erhöhte Dehnbarkeit sowie höhere Elastizität und verbessertes Relaxationsvermögen ausgeglichen werden [15].

### 4.3.3.3 Offenporiger Asphalt

Bei offenporigem Asphalt (OPA) handelt es sich um besonders hohlraumreiche, wasserdurchlässige Spezialasphalte, welche über einen hohen Splittanteil verfügen. Der Einbau erfolgt als einlagige, in Ausnahmefällen als zweilagige Deckschicht. Durch eine rasche Entwässerung der Fahrbahnoberfläche kann die Verkehrssicherheit verbessert und zusätzlich die Lärmbelastung reduziert werden.

Der Hohlraumgehalt beträgt mehr als 20 % mit einem Bindemittelgehalt von 5 – 7 M.-%. Dies kann mit einem Splittgehalt 8/11 von 85 – 90 M.-% und einem Sand- und Füllergehalt von 10 – 15 M.-% erreicht werden. Die Kornform und die Festigkeit der Mineralstoffe ist für die dauerhafte Funktion bezüglich Lärminderung und Drainagefähigkeit ausschlaggebend. Um eine homogene, gleichmäßig durchlässige Schicht herstellen zu können, ist ein störungsfreier Einbau unter optimalen Bedingungen erforderlich.

Um den Schutz der darunterliegenden Schichten sowie den Abtransport der eindringenden Wassermengen gewährleisten zu können, müssen offenporige Asphalte auf einer abdichtenden Unterlage, wie etwa einer SAMI-Schicht, eingebaut werden.

Diese offenporigen Asphaltdeckschichten sind in Deutschland keine Regelbauweise und werden in diversen Forschungsvorhaben und durch Untersuchungen an Erprobungsstrecken getestet.

### 4.3.3.4 Splittmastixasphalt

Splittmastixasphalt (SMA) ist eine Mischung aus Mineralstoffen mit Ausfallkörnung, Bitumen als Bindemittel und stabilisierenden Additiven. Die Hohlräume, geschaffen durch ein in sich

abgestütztes Splittgerüst, sind größtenteils mit Asphaltmastix gefüllt. Um eine mögliche Entmischung bei Herstellung, Transport, Einbau oder Verdichtung zu vermeiden, müssen dem Splittmastixasphalt bei hohen Bindemittelgehalten stabilisierende Zusätze beigemischt werden. Bei gummimodifiziertem Bitumen ist durch die hohe Viskosität die Zugabe von stabilisierenden Zusätzen nicht vorzunehmen, was sich qualitätsverbessernd auswirkt.

Der SMA verfügt über erhöhte Resistenz gegen Verschleiß sowie erhöhten Widerstand gegen Verformung. Dies wird durch Verwendung von extrem schlagfesten, kubischen Mineralstoffen und Bitumen mit geringer Temperaturempfindlichkeit gewährleistet. Zusätzlich ist eine gute Verdichtung unerlässlich.

Diese Asphaltbauweise ist in Deutschland als Regelbauweise anerkannt und wird heute in größeren Mengen verwendet als Gußasphalt.

#### **4.3.3.5 Instandsetzung schadhafter Fahrbahndecken durch Überbauung**

Wenn der Asphaltbelag auf Fahrbahnen durch Risse und Ausmagerungen stark in Mitleidenschaft gezogen wurde, bietet sich die Möglichkeit, die schadhaften Straßenbefestigungen zu überbauen, statt eine Totalsanierung zu veranlassen. Es ist jedoch nötig, daß die Tragfähigkeit der Fahrbahn noch ausreichend gegeben ist. Der bautechnische Aufwand kann somit in einem angemessenen Rahmen gehalten werden und die Ebenheit und Griffigkeit der Fahrbahn kann wiederhergestellt werden. Mit der abdichtenden Wirkung der Überbauung kann eine schadensfreie Verwendung der Fahrbahn über Jahre hinweg ermöglicht werden.

Durch den Einsatz von gummimodifiziertem Bitumen in der Deckschicht und einer SAMI-Schicht kann die Überbauungsdicke bei gleichbleibender Qualität der Ausführung (größere Flexibilität der Überbauung) um ca. ein Drittel reduziert werden, wodurch ein entsprechender wirtschaftlicher Vorteil erreicht wird.



## 5 Modifizierung von Bitumen mit Gummimehl

### 5.1 Definition von Bitumen, Asphalt und Gummibitumen

**Bitumen** ist ein in der Natur vorkommendes, brennbares, braunes oder schwarzes Stoffgemisch aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen und Wasser, das sich unter Luftabschluß aus organischen Substanzen gebildet hat. Erdöl, Erdgas, Asphalt und Teer, Erdwachs und Erdpech sind natürliche Bitumina. Daneben gibt es aus der Erdöldestillation gewonnene Bitumina, die z.B. für den Straßenbau, als Dichtmittel und als Anstrichstoff verwendet werden [10]. Bitumen ist in organischen Lösungsmitteln löslich und wird vor allem für Straßenbeläge und Dachpappen verwendet. Künstliches Bitumen wird aus Erdöl hergestellt. Die durch Destillation gewonnenen Bitumen, die aus den nicht flüchtigen Kohlenwasserstoffen des Erdöls bestehen, werden zu Straßenbelägen verarbeitet. Luftgeblasene Bitumen, die bei Temperaturen von 204 bis 316 °C aus Erdölrückständen hergestellt werden, finden vor allem in Dachpappen Verwendung. Natürliche Bitumenlagerstätten haben sich aus Rückständen von Erdöl gebildet.

**Asphalt** ist eine natürlich vorkommende oder künstlich hergestellte Masse, die aus Bitumen und Mineralstoffen besteht. Asphalt ist fest oder zähflüssig, braun bis schwarz und brennbar [10].

**Gummibitumen** ist ein gummimodifiziertes Spezialbitumen, ein hochelastomermodifiziertes Bindemittel, das seine Eigenschaften durch ca. 10 % Elastomere-Gehalt erhält. Das für die Herstellung notwendige spezielle Gummigranulat wird aus Altreifen gewonnen und zu 15 bis 18 M.-% dem Spezialbitumen beigemischt. Die Einbindung des Gummis in das Bitumen erfolgt sowohl chemisch als auch physikalisch. Die Viskosität dieses Bindemittels ist deutlich höher als die Viskosität von polymermodifiziertem Bitumen (PmB). Bedingt durch diese hohe Viskosität kann das gummimodifizierte Spezialbitumen dick genug aufgetragen werden, um elastische Membranschichten herstellen zu können [19].

### 5.2 Prüfparameter

Um Gummibitumen hochqualitativ herstellen zu können, muß sichergestellt werden, daß die Parameter angefangen von der Qualität der Ausgangsstoffe Bitumen, Gummimehl und Öl bis hin zur Fabrikationskontrolle abgeklärt und eingehalten werden.

In der folgenden Tabelle 5.1 sind die Prüfparameter und die Anforderungen für das Ausgangsbitumen B 80 / B 65, das Gummimehl und das gummimodifizierte Bitumen aufgelistet. Beim Bitumen sind die Parameter vor der Verarbeitung an der Mischanlage und kurz nach der Herstellung aufgezeigt.

Tabelle 5.1: Qualitätssicherung von gummimodifiziertem Bindemittel

| <b>Ausgangsbitumen (B 80 / B 65)</b>                                    |   |
|---|---|
| Umfang: je 100 t Bitumen  |   |
| <u>Prüfparameter</u>  | <u>Anforderungen</u>  |
| Ni/V-Gehalt   | DIN 1995  |
| Erweichungspunkt RuK  | DIN 1995  |
| Nadelpenetration  | DIN 1995  |
| <u>Alterungsverhalten im rotierenden Kolben</u>                         | <u>Anforderungen</u>  |
| Gewichtsänderung  | max. 0,5 %  |
| Erweichungspunkt RuK  | max. 4,0 °C   |
| Nadelpenetration  | max. 30 %   |
| <b>Gummimehl</b>  |   |
| Umfang: je Lieferung  |   |
| <u>Prüfparameter</u>  | <u>Anforderungen</u>  |
| Sieblinie   | Know-how bedingte Herstellerspezifikation   |
| <b>Gummimodifiziertes Bitumen (vor Verarbeitung an der Mischanlage)</b> |   |
| Umfang: je Lieferung  |   |
| <u>Prüfparameter</u>  | <u>Anforderungen</u>  |
| Erweichungspunkt RuK  | 55 - 60 °C  |
| Nadelpenetration  | 55 - 60 1/10 mm   |
| Bestimmung des unlöslichen Gummigehaltes bei auffälliger Konsistenz     |   |
| <b>Gummimodifiziertes Bitumen (frisch nach Herstellung)</b>             |   |
| Umfang: je Produktionstag   |   |
| <u>Prüfparameter</u>  | <u>Anforderungen</u>  |
| Viskosität  | 1.000 - 1.500 mm <sup>2</sup> /s  |
| Erweichungspunkt RuK  | 55 - 60 °C  |
| Nadelpenetration  | 55 - 60 1/10 mm   |
| Brechpunkt nach FRAASS  | max. -25 °C   |
| Elastische Rückstellung   | > 60 %  |
| <u>Alterungsverhalten im rotierenden Kolben</u>                         | <u>Anforderungen</u>  |
| Gewichtsänderung  | max. 0,5 %  |
| Erweichungspunkt RuK  | max. 2,0 °C   |
| Nadelpenetration  | max. 5 1/10 mm  |
| Bestimmung des unlöslichen Gummigehaltes durch Extraktion               | Dient zur Berechnung des Zuschlagfaktors für lösliche Bindemittel im Rahmen der Eignungsprüfung |

## 5.3 Bitumen

Es ist grundsätzlich zwischen den Bindemitteln Pech und Bitumen zu unterscheiden. Pech, früher unter Straßen-Teer bekannt, ist ein Produkt der Pyrolyse von Kohle, der sogenannten Verkokung. Bitumen hingegen ist ein Rückstandsprodukt aus der Rohölraffination. In den meisten Ländern ist die Verwendung von Pech aus Gesundheits- und Sicherheitsgründen seit vielen Jahren untersagt. Auch muß pechhaltiger Straßenaufbruch vor der Entsorgung einer speziellen Behandlung unterzogen werden, um eine Gefährdung für die Umwelt auszuschließen.

### 5.3.1 Vom Erdöl zum Bitumen

Erdöl ist ein komplexes Gemisch von Kohlenwasserstoffen mit Schwefel-, Stickstoff- und Sauerstoffverbindungen. Verschiedene Metalle wie Vanadium und Nickel fallen in Spuren an. Es kommt in der Natur vor und ist in unterirdischen Lagerstätten und bei Normalbedingungen vorwiegend flüssig. Es wird zur Verwendung als primärer Energieträger und Rohstoff für viele chemische Veredelungen gewonnen. Rohöl ist ein Vielkomponentengemisch, wobei die Siedepunkte der einzelnen Bestandteile in einem Bereich von 0 °C bis über 500 °C liegen können. Durch Verdampfungs- und Kondensationsvorgänge können so die einzelnen Fraktionen nach ihrem Siedepunkt abgetrennt werden. In der folgenden Abbildung 5.1 ist ein Fließschema einer Rohöl-Destillation dargestellt.

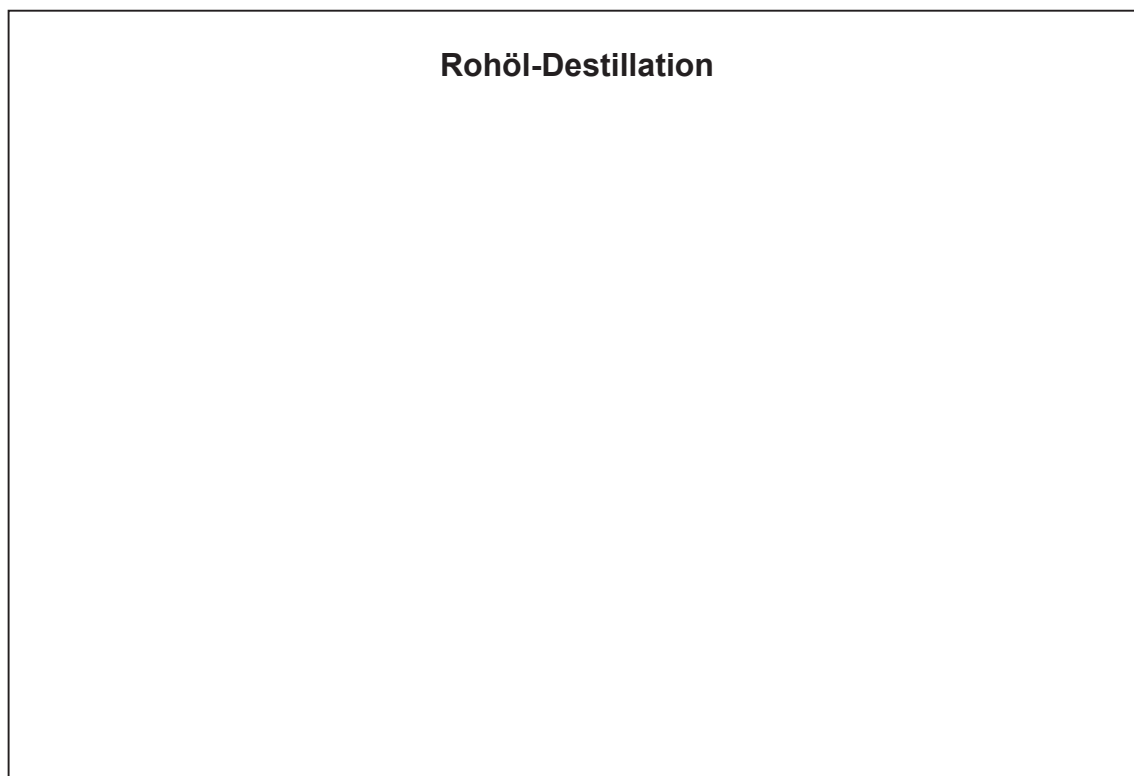


Abbildung 5.1: Rohöl-Destillation



In der nächsten Tabelle 5.2 sind die unterschiedlichen Eigenschaften einiger typischer Rohöle aus der Verarbeitung der Raffinerie Schwechat, Österreich, angeführt [20].

**Tabelle 5.2: Eigenschaften von typischen Rohölen aus der Verarbeitung der Raffinerie Schwechat, Österreich**

| Rohölsorte   | Herkunft      | Dichte /<br>15 °C [g/cm <sup>3</sup> ] | Viskosität /<br>10 °C [mm <sup>2</sup> /s] | Normalparaffine | Bitumenfähigkeit |
|--------------|---------------|--|--|-----------------|------------------|
| OMV-A        | Österreich    | 0,971                                  | 175  | Keine           | ja               |
| Sahara Blend | Algerien      | 0,804                                  | 4  | Mittel          | nein             |
| Brega        | Libyen        | 0,827                                  | 9  | Viel            | nein             |
| Arab. Light  | Saudi Arabien | 0,851                                  | 12   | Mittel          | nein             |
| Arab. Heavy  | Saudi Arabien | 0,887                                  | 65   | Mittel          | ja               |
| Iran. Light  | Iran          | 0,857                                  | 14   | Mittel          | ja               |
| Iran. Heavy  | Iran          | 0,870                                  | 29   | Mittel          | ja               |
| Kirkuk       | Irak          | 0,846                                  | 13   | Mittel          | ja               |

Die Endprodukte der Raffinerieverarbeitung können je nach Verbrauchermarkt unterschiedlich sein und sind in fünf Hauptgruppen einteilbar [20]:

- Kraftstoffe (Vergaserkraftstoffe für Otto-Motoren, Flugturbinen und Dieselmotoren),
- Schmierstoffe (Kraftfahrzeugöle, Industrieschmieröle, Spezialöle, Schmierfette und Industriehilfsmittel),
- Heizstoffe (Flüssiggase, Ofenheizöle, leichte und mittlere Rückstandsheizöle sowie schwere Industrieöle),
- Baustoffe (Bitumen für den Straßenbau und industrielle Verwendung),
- Chemiegrundstoffe (Olefine, Aromaten, Normalparaffine, Kohlenwasserstoff-Solvents und Schwefel).

Das Rohöl wird durch Fraktionierung in die Primärprodukte Gesamtbenzin, Mitteldestillat und Rückstände aufgetrennt. Fraktionierung ist eine Zerlegung eines Stoffgemisches durch stufenweise Abtrennung der Bestandteile (Fraktionen) und findet bei Verfahren wie der Destillation, Kristallisation, usw. Anwendung. Je nach Herkunft des Erdöles ist der prozentuelle Anteil der einzelnen Primärprodukte unterschiedlich.

Die Sortierung nach den jeweiligen Siedepunkten erfolgt unter Atmosphärendruck. Zu Beginn werden leichtsiedende, leichtzündbare, dünnflüssige Produkte abgetrennt. Diese haben einen Siedepunkt bis etwa 400 °C. Hieraus werden hauptsächlich Brenn- und Kraftstoffe hergestellt. Danach folgt der Schmierölbereich mit einem Siedebereich von ca. 350 – ca. 550 °C, wo schwerersiedende, mittel- bis zähflüssige Substanzen abgeschieden werden. Zur dritten Hauptgruppe zählen die nichtsiedenden, hochzähflüssigen, schwarzen Destillationsrückstände. Sie dienen zur Produktion von Heizöl und Bitumen.

Die Folgeprodukte sind stark abhängig von den vorhandenen Festparaffinen und die Eignung zur Erzeugung von Bitumen. Hierbei ist einerseits ein möglichst niedriger Paraffinanteil und andererseits ein hoher Aromatenanteil für ein qualitativ hochwertiges Bitumen nötig.

Der Rückstand, Heizöl oder Bitumen, aus der atmosphärischen Destillation von Rohöl wird einer weiteren Destillation unter vermindertem Druck unterzogen. Es kommt zur Auftrennung in Vakuumdestillate und zu einem Vakuumrückstand. Dieser Vorgang wird als Vakuumdestillation oder Feed Preparation bezeichnet. Je nach aufbereiteter Rohölsorte werden die aus der Feed Preparation hervorgehenden Vakuumdestillate für die Schmierölproduktion oder zum katalytischen Cracken verwendet. Auch hier fallen weitere Vakuumrückstände an, welche je nach Rohöltyp der Produktion von Industrieheizölen dienen oder bei korrespondierender Eignung für die Herstellung diverser Bitumensorten genutzt werden können. Diese insgesamt etwa 12 bis 20 Einzelsorten finden als Baustoff ihre Anwendung

- im Asphaltstraßenbau in Form von Guß- und Walzasphalt,
- im Wasserbau für Damm- und Küstenschutz, Wasserbecken sowie Kraftwerkspeicher und
- in der industriellen Weiterverwendung als Dachpappe, andere Beschichtungen für Dachbeläge und zur Herstellung von Dämm- und Isoliermaterial.

Um die gewünschten Eigenschaften zu erhalten, wird eine Veredelung mit Hilfe der sogenannten Bitumenoxidation mit Luftsauerstoff durchgeführt. Dieser Verfahrensablauf ist auch unter dem Namen Blaseprozeß bekannt. Eingesetzt werden hier entweder Vakuumrückstände von ausgewählten Rohölen oder Mischungen mit Fluxanteilen verschiedener Zusammensetzung. Fluxanteile sind Vakuumdestillate, welche weitgehend paraffinfrei sind. Das Blasen findet bei Temperaturen von 220 °C – 270 °C in einem Zirkulationsreaktor mit Redispergiereinrichtung statt. Es erfolgt ständiges Rühren und Dispergieren der im Überschuß vorhandenen Luftblasen unter gleichzeitigem Einsprühen von Wasserdampf. Unter diesen Bedingungen kommt es zu einer hohen Anzahl von Molekülreaktionen und damit zur Änderung der Bitumeneigenschaften:

- Erhöhung von Viskosität und Erweichungspunkt,
- Verbesserung der Kälteeigenschaften und
- Erweiterung der Gebrauchsspannung.

Asphaltene als Skelettstoffe werden beim Blaseprozeß vermehrt, womit wird die kolloide Struktur in Richtung eines höheren Gelzustandes verschoben wird. Anschließend wird das Bitumen mit Zwischenproduktkomponenten der Vakuumdestillation und der Bitumenoxidation gemischt. Dieser Prozeß findet in der Heißmischanlage statt, wobei die Eigenschaften der verschiedenen Bitumensorten für bestimmte Verwendungen optimiert werden [20].

Je nach Anwendungsart des aus Rohöl gewonnenen Bitumens wird das Bindemittel nach dem Verhältnis Asphaltene zu Harze, Erweichungstemperatur, Temperaturbereich des viskoelastischen Verhaltens, Viskosität und deren Temperaturabhängigkeit als Maß für die Gebrauchsspanne ausgewählt. Auch spielt die optimale Temperatur bei den verschiedenen Verarbeitungsvorgängen wie Mischen, Pumpen, Verspritzen und Walzen eine wichtige Rolle. Das Bitumen muß zusätzlich über Eigenschaften wie chemische Beständigkeit gegenüber Wasser und wassergelösten Mineralsalzen, sowie Isoliereigenschaften gegenüber Wasser und Wasserdampf verfügen [20].

Bitumen als Bindemittel im Asphaltstraßenbau bildete die Voraussetzung für den Straßenbau der Neuzeit. Dadurch konnten vor allem die Industrieländer die ständig steigende Verkehrslawine der letzten 50 Jahre mit einer Erweiterung und Verbesserung des Straßennetzes kompensieren.

### 5.3.2 Allgemeines zum Bitumen

Bitumen fällt, wie schon erwähnt, bei schonender Destillation von Erdöl an. Der Härtegrad, also die Konsistenz des Bitumens, hängt von der Menge der abgetrennten Öle und von den vorhandenen höhermolekularen Bestandteilen, den Asphaltene, ab.

Bitumen ist am stärksten von der Rohölszusammensetzung, der sogenannten Rohölprovenienz, abhängig. Es fällt bei der Verarbeitung von Rohöl als einziges nicht destilliertes Produkt im Vakuumrückstand an. Die Auswahl des geeigneten Rohöls ist daher ausschlaggebend für die Qualität des Bitumens und der daraus resultierenden Erzeugnisse.

Dieser Erdölbestandteil stellt einen wertvollen Baustoff, jedoch keinen Energieträger dar. Aufgrund seiner zähflüssigen Konsistenz besitzt das Bitumen einige prüftechnische Besonderheiten.

#### 5.3.2.1 Aufbau von Bitumen

“Bitumen besteht aus einer Vielzahl von kohlenwasserstoffhaltigen Verbindungen, die sich neben dem Vorhandensein von Hetero-Atomen wie Sauerstoff, Stickstoff

und Schwefel auch in ihrem strukturellen Aufbau, ihrer Polarität sowie ihrem Molekulargewicht unterscheiden. Stofflich ist Bitumen ein kolloiddisperses Zweiphasensystem. Höhermolekulare, aromatisch-naphthenische, springharte "Asphaltene" sind als "Klümpchen" (= Micellen) in einer dickflüssigen, niedermolekularen, naphthenisch-paraffinischen Ölphase, den "Maltenen", fein verteilt. Wegen der Teilchengröße sind die Micellen im Öl nicht mehr echt löslich, sondern "kolloidal dispergiert". Nieder/mittel-molekulare, naphthenisch-aromatische "Harze" stabilisieren als Lösungsvermittler ("Peptisatoren") dieses kolloiddisperse System. Die typischen von denen anderer Mineralölprodukte abweichenden Eigenschaften des Bitumens hängen mit diesem kolloidalen Zustand zusammen." [21].

### 5.3.2.2 Kennzeichnung und Verwendung

Je nach Herstellungsart kann zwischen drei Bitumentypen, mit unterschiedlichen Sorten, unterschieden werden:

- Normbitumen (Sorten B 300 bis B 15)
- Hochvakuumbitumen (Sorten HVB 85/98, 95/105 und 130/140)
- Oxidationsbitumen (Sorten 75/30 bis 165/5)

Etwa 75 % der Bitumenproduktion entfallen auf das Normbitumen, welches vorrangig zur Aufbereitung von Asphaltmischungen im Straßenbau dient. Hochvakuumbitumen wird hauptsächlich für Gußasphalt-Estriche und Asphaltplatten verwendet. Zusätzlich findet sie auch Anwendung in der Gummi-, Papier, und Elektrokabel-Anstrichmittel-Industrie. Oxidationsbitumen hingegen dient zur Herstellung von Dach- und Dichtungsbahnen, Isolier- und Imprägniermassen, sowie Dämm- und Klebstoffen.

Zusätzlich gibt es noch folgende bituminöse Produkte, die der Weiterverarbeitung dienen:

- Bitumenemulsionen,
- Bitumenlacke,
- Kaltbitumen,
- Modifizierte/elastifizierte Bitumen und
- Verschnittbitumen.

### 5.3.2.3 Untersuchungsmethoden

Die im Erdöl enthaltenen Paraffine sind abhängig von der Provenienz und reichern sich bei der Destillation im Bitumen an. Die DIN 1995 beschränkt den Anteil an kristallisierbaren Paraffinen auf 2,0 M.-%, da diese die Plastizität und Klebkraft des Bindemittels reduzieren.

Zur Identifikation von Bitumens und seiner Rohölherkunft sind folgende Parameter dienlich:

- Paraffin- und Schwefelgehalt,
- Dichteverhältnis,
- Nickel- und Vanadiumgehalt (in Spuren).

In Deutschland sind die Kenndaten für Normbitumen in der DIN 1995 festgelegt. Für die Beschreibung der einzelnen Bitumensorten werden folgende Prüfverfahren herangezogen:

- Brechpunkt nach FRAASS: entspricht jener Temperatur in °C, bei der das abgekühlte Bitumen seine Plastizität weitgehend verliert, versprödet und bei Durchbiegung reißt.
- Erweichungspunkt Ring und Kugel (RuK): jene Temperatur in °C, bei der das Bindemittel unter festgelegten Prüfbedingungen erweicht.
- Penetration bei 25 °C: die Eindringtiefe einer genormten Nadel in das Bitumen unter definierten Bedingungen. Die Angabe erfolgt in mm/10.

Steigt die Temperatur über den jeweiligen Erweichungspunkt des Bitumens an, so geht es in den flüssigen Zustand über. Es muß daher der Viskositätszustand bekannt sein, damit eine Verarbeitung im optimalen Temperaturbereich möglich ist.

Unter Plastizitätsspanne wird der Temperaturabstand in °C zwischen dem Brechpunkt nach FRAASS und dem Erweichungspunkt Ring und Kugel verstanden. Es läßt sich hiermit der knetbare plastische Zustand des Bitumens finden, wenn es sich zwischen dem spröden und dem flüssig-viskosen Bereich bewegt. Je größer die Plastizitätsspanne ist, desto temperaturunabhängiger ist das Bitumen.

Der sogenannte Penetrations-Index gibt den mehr oder weniger plastischen Charakter eines Bindemittels an. Er ergibt sich aus einer formelmäßig erfaßbaren Beziehung zwischen der Penetration und dem Erweichungspunkt Ring und Kugel. Der Penetrations-Index für Normbitumen liegt im Straßenbau zwischen -1 und +1. Ein Wert kleiner als -1 verweist darauf, daß das Bitumen spröde und temperaturempfindlich ist. Werte über +1 zeugen von hoher Plastizität, was vor allem bei Oxidationsbitumen vorkommt.

Eine weitere Eigenschaft von Bitumen im plastischen Temperaturbereich ist das Entstehen von Fäden bei Zugbeanspruchung. Diese Streckbarkeit wird auch Duktilität genannt. Da sie von den Prüfbedingungen abhängig ist, müssen die Ergebnisse kritisch betrachtet werden.

Es ist noch zu bemerken, daß Bitumen, im Gegensatz zu optisch ähnlichem Steinkohlenteer, keine kanzerogenen Auswirkungen auf Lebewesen hat.

### 5.3.3 Bitumen als Bestandteil der Asphaltmischung

Bitumen wird der Asphaltmischung als Additiv zu einem Anteil von 5 bis 7 M.-% beigemischt. Trotz dieser relativ geringen Menge spielt das bituminöse Bindemittel für die Qualität des Asphaltes eine entscheidende Rolle. Besonders bei offenporigen Asphaltdeckschichten muß das Bitumen die Fähigkeit aufweisen, die einzelnen Mineralstoffkörner so miteinander zu verkitten, daß ein Standhalten gegen mechanische Beanspruchung bei gleichzeitigem starken Wasserangriff gewährleistet ist. Die geforderten Oberflächeneigenschaften müssen dauerhaft erhalten bleiben.

Bei Bitumen kann zwischen primären und sekundären Bindemiteleigenschaften, wie in Tabelle 5.3 dargestellt, unterschieden werden.

**Tabelle 5.3: Erwünschte Bitumeneigenschaften**

| Primäre Bindemiteleigenschaften   | Sekundäre Bindemiteleigenschaften   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Viskosität               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Niedrig bei der Verarbeitung</li> <li>- Hoch bei Beanspruchung.</li> </ul> </li> <li>• Gute Klebekraft               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Adhäsion und</li> <li>- Kohäsion.</li> </ul> </li> <li>• Relaxationsvermögen.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine langfristige Veränderung der primären Eigenschaften durch Alterung, wie zum Beispiel durch               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oxidation</li> <li>- Destillation</li> <li>- Homogenitätsstörung.</li> </ul> </li> </ul> |

Zu den primären Eigenschaften zählen Klebekraft, Viskosität und Relaxationsvermögen. Das Bindemittel muß beim Einbau über eine geringe Viskosität verfügen, bei einer späteren Beanspruchung ist jedoch eine hohe Viskosität gefordert. Weiches Bitumen besitzt ein wesentlich höheres Relaxationsvermögen als hartes. Die optimalsten Voraussetzungen besitzt ein Bindemittel mit viskoelastischen Eigenschaften. Kommt es zum Beispiel durch temperaturbedingte Spannungen zu einer langfristigen Beanspruchung, so verleiht der viskose Anteil dem Bitumen das nötige Relaxationsvermögen. Dadurch können die Spannungen umgehend abgebaut werden. Die elastischen Komponenten hingegen verhindern eine dauerhafte Verformung, die aufgrund einer kurzfristigen Belastung, wie etwa durch ein Transportfahrzeug, zustande kommen würde.

Unter sekundären Bindemiteleigenschaften versteht man die Unterbindung von langfristigen Veränderungen der primären Merkmale. Durch Oxidation, Destillation und Homogenitätsstörung können alle genannten primären Eigenschaften, wie Viskosität, Klebekraft und Relaxationsvermögen stark beeinträchtigt werden. Oxidation bewirkt eine Vergrößerung der

Moleküle, was eine Nachbildung der Asphaltene bewirkt. Durch Destillationsvorgänge kommt es zum Entweichen der leicht flüchtigen Bestandteile, und ein Ausfallen der Asphaltene führt zur Störung der Homogenität [22].

Es ist wichtig, von der Raffinerie das Bitumen in der verlangten chemischen Zusammensetzung geliefert zu bekommen. Nur so kann ein Gummibitumen mit der gewünschten gleichmäßigen Qualität hergestellt werden. In Tabelle 5.4 ist die chemische Zerlegung von drei Bitumentypen in ihre Hauptbestandteile Asphaltene, Harze und Öle dargestellt. Hierbei sind Unterschiede von bis zu 9 % (Differenz am prozentuellen Anteil der Asphaltene im Bitumen A und C) feststellbar [22].

**Tabelle 5.4: Einfluß des eingesetzten Bitumens**

| Chemische Bestandteile | Bitumen A | Bitumen B | Bitumen C |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Asphaltene [M.-%]      | 18        | 20        | 27        |
| Harze [M.-%]           | 64        | 61        | 60        |
| Öle [M.-%]             | 18        | 19        | 13        |

## 5.4 Gummimehl

Gummi spielt in unserem Alltag eine wichtige Rolle und ist unter anderem in den folgenden Bereichen anzutreffen:

- Reifen aus Gummi sind das Verbindungsglied zwischen dem Transportmittel und der Straße,
- Gepäckstücke und Schüttgut werden mit Fördergurten aus Gummi transportiert,
- Keil- und Zahnriemen aus Gummi übertragen Kräfte,
- flüssige Medien werden mit Gummischläuchen transportiert,
- Gummi dient als Isoliermaterial, dichtet und dämpft.

Das für Flüster-Asphalt® verwendete Gummimehl wird aus Altreifen gewonnen und muß aus ca. 50 % Naturkautschuk und ca. 50 % Synthetikautschuk bestehen.

Das am besten geeignete Gummimehl wird anhand einer Reihe von Laboruntersuchungen für die gegebenen Ansprüche evaluiert. Aus der folgenden Tabelle 5.5 ist die Korngrößenverteilung und deren Grenzwerte zu entnehmen.

**Tabelle 5.5: Anforderungen an die Korngrößenverteilung bei Gummimehl**

| Korngrößenverteilung |                    |        |        |
|----------------------|--------------------|--------|--------|
| ASTM <sup>1</sup>    | Siebdurchgang [mm] | Min.-% | Max.-% |
| 12                   | 1,680              | 100    |        |
| 14                   | 1,410              | 100    |        |
| 18                   | 1,000              | 95     |        |
| 30                   | 0,590              | 40     | 60     |
| 50                   | 0,297              |        | 60     |
| 100                  | 0,149              |        | 5      |

Damit die größtmögliche Oberfläche des Gummimehls erreicht wird, muß die Herstellung bei Umgebungstemperatur durchgeführt werden. Wie schon erwähnt, werden beim Kaltmahlverfahren Gummipartikel mit zu glatter Oberfläche hergestellt, was zu Problemen bei der Weiterverarbeitung führt. Der Weitertransport des Gummimehls erfolgt in verschweißten Kunststoffsäcken zu 20 oder 25 kg oder im Big Bag.

## 5.5 Gummimodifiziertes Bitumen

### 5.5.1 Allgemeines zu gummimodifiziertem Bitumen

Die hohen volkswirtschaftlichen Kosten, verursacht durch Straßenerhaltungsmaßnahmen, sowie erhöhtes Verkehrsaufkommen und Achsenlast, forcierten die Entwicklung eines elastomermodifizierten Bindemittels – das sogenannte Gummibitumen.

Bitumen + Gummimehl + Öl  $\xrightarrow{\text{Temperatur, Zeit}}$  Gummibitumen

Wie soeben gezeigt, wird Gummibitumen aus den folgenden drei Komponenten zusammengemischt:

<sup>1</sup> ASTM ist eine in den USA gültige Norm. Die gegebenen ASTM-Werte entsprechen den jeweiligen Siebdurchgängen in mm.



1. Reines Bitumen, aus verlässlicher Herkunft und von gleichbleibender Qualität,
2. Gummimehl, gewonnen aus vermahlenden Altreifen,
3. schwer flüchtiges, aromatisches Öl (in Ausnahmefällen, wenn Bitumen nicht ausreichend aromatenreich).

Das aromatische Öl ist ein Produkt der Erdölindustrie, das ebenfalls von standardisierter Qualität zu sein hat. Das Öl hat die Aufgabe, die aufgelösten Gummipartikel im Bitumen zum Quellen zu bringen.

Das Vermischen von Bitumen, Gummi und Öl dauert ungefähr zwei Stunden bei einer Mischtemperatur von 200 °C. Die Reaktionen zwischen den drei Bestandteilen können während des gesamten Mischvorgangs genau überprüft werden, da die Viskosität ständig gemessen und kontrolliert wird. Die sich am Ende des Vorgangs einstellende Viskosität muß der möglichen Verarbeitungsviskosität des Spritzgerätes entsprechen, um spätere Verarbeitungsprobleme der Maschine zu vermeiden [22].

Gummibitumen verfügt, verglichen mit reinem Bitumen, vor allem hinsichtlich des typischen Elastomerverhaltens und des Verhaltens bei niedrigen Temperaturen, über verbesserte Eigenschaften. Es zählt daher zu den Hochleistungsbindemitteln. Es eignet sich für verschiedenste straßenbauliche Anwendungen, vor allem wenn ein verbessertes Bindemittel erforderlich ist. Als Beispiele wären zu nennen:

- Abdichtung von Brücken,
- Verfüllen von Rissen,
- Ausführung von Nahtstellen,
- hohlraumarme und hohlraumreiche Beläge (Drainasphalt),
- Dünnschichtbeläge und sehr dünne Asphaltbeläge,
- spannungs- und rißabsorbierende Zwischenschichten (SAMI) sowie
- dick aufgespritzte Gummibitumenschichten oder Membrane auf ungünstigen und verschiedenartigen Unterlagen [22].



## 5.5.2 Viskosität

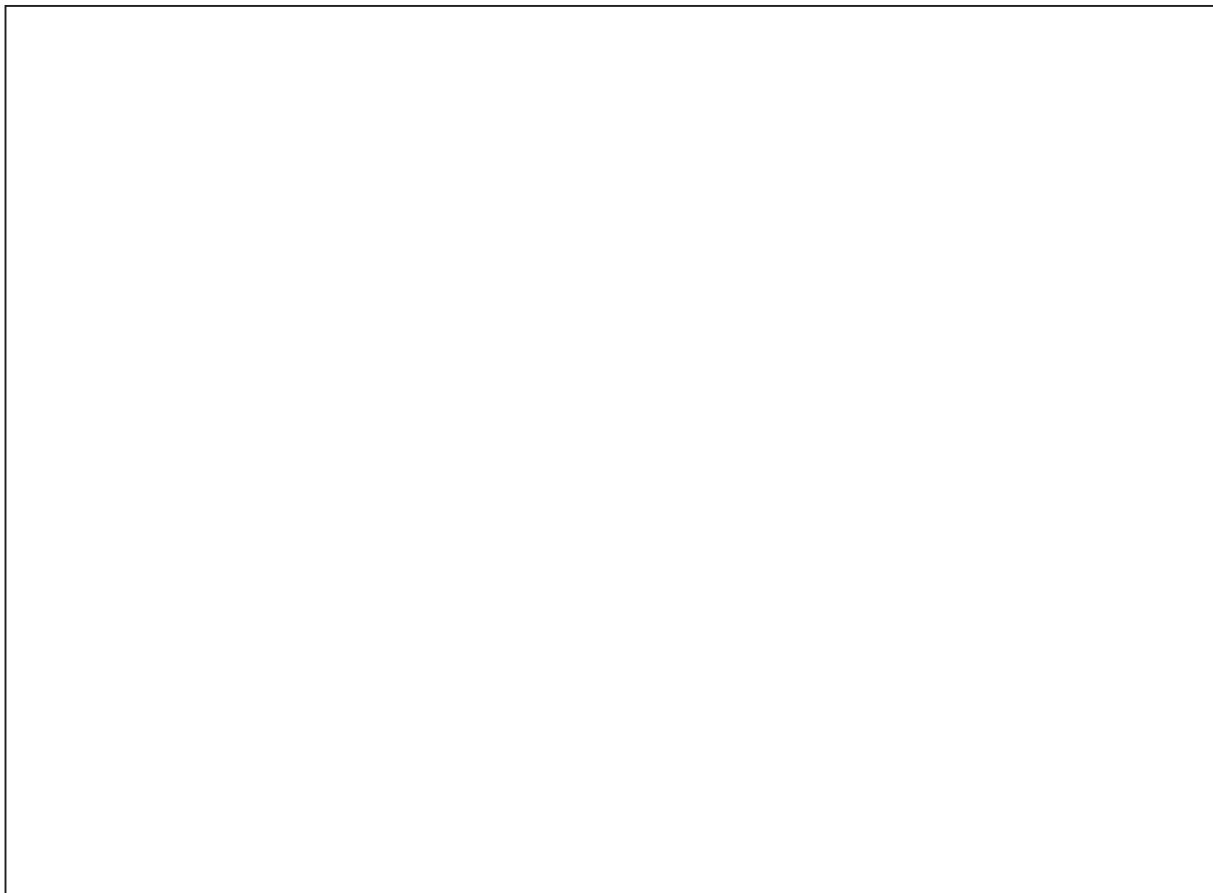
Die Viskosität ist eine der wesentlichsten Stoffeigenschaften von Bitumen. Sie kann mittels diverser Prüfmethode für Bitumina, wie etwa Erweichungspunkt oder Penetration, festgestellt werden. Um beim Verarbeiten vom Bindemittel die gewünschten Resultate zu erzielen, müssen Pump-, Misch- und Spritzvorgänge innerhalb bestimmter Viskositätsgrenzen durchgeführt werden. Dafür sind genaue Kenntnisse der Abhängigkeitsverhältnisse zwischen Viskosität und Temperatur notwendig.

Gummimodifiziertes Spezialbitumen weist eine hohe Viskosität auf. Sie beträgt etwa 1.000 mm<sup>2</sup>/s beim Aufspritzen des Bindemittels mit einer Temperatur von 200 °C. Somit ist die Viskosität dieses Spezialbitumens im Vergleich zu einem handelsüblichen Polymerbitumen zwanzig Mal höher. Selbst bei einer Temperatur von 135 °C kann das gummimodifizierte Bitumen die 15-fache Viskosität eines Polymerbitumens verzeichnen. Es können somit Oberflächenbehandlungen mit einer Bindemittelmenge von 2 – 3,5 kg/m<sup>2</sup> hergestellt werden, ohne daß die Fahrbahn in der Sommerhitze zu „schwitzen“ beginnt oder das Bindemittel abtropft.

Je höher die Viskosität, desto zäher und je niedriger die Viskosität, desto dünnflüssiger ist das Bitumen. Da diese Stoffeigenschaft von der Temperatur abhängig ist, ist zu vermerken, daß die Dickflüssigkeit mit steigender Temperatur abnimmt. Aus einem Diagramm der Firma CTS Bitumen GmbH, Deutschland, ist das unterschiedliche Verhalten der Viskosität von Spezialbitumen und Verschnittbitumen in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt (Abbildung 5.2).

In der Abbildung wurde die Viskosität in mm<sup>2</sup>/s logarithmisch aufgetragen. Die drei notwendigen Verarbeitungsbereiche sind mit gewellten Linien gekennzeichnet und müssen folgende Grenzbereiche aufweisen:

- Pumpen: 1.000 – 1.500 mm<sup>2</sup>/s,
- Mischen: 100 – 300 mm<sup>2</sup>/s,
- Verspritzen: 41 – 50 mm<sup>2</sup>/s .



**Abbildung 5.2: Viskosität diverser Bitumen in Abhängigkeit von der Temperatur**

Bei allen eingezeichneten Normalbitumen (dünne Linien), vom Verschnittbitumen nach DIN 1995 über das Bitumen B 25 bis hin zu den hochviskosen Bituminas HB 85/95, ist eine Parallelität der Linien zu erkennen. D.h. egal ob diese Bitumen ihre höchste Viskosität bei einer Temperatur von 10, 70 oder 105 °C aufweisen, besitzen sie alle die selbe Steigung, wenn sie einer Wärmezufuhr unterzogen werden.

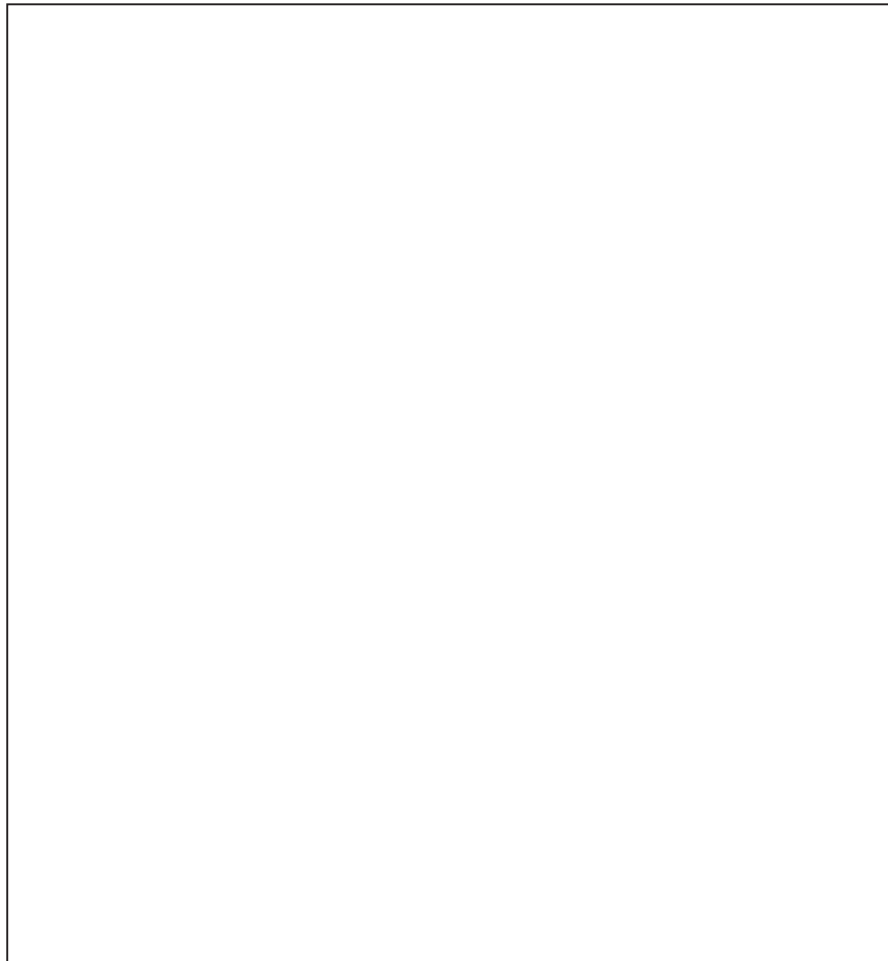
Weiterhin wurde der Versuch mit polymermodifiziertem Bitumen PmB 65 (gepunktete Linie) durchgeführt. Hier ist schon eine leichte Horizontalisierung der Linie erkennbar, was bedeutet, daß dieses Bindemittel eine etwas höhere Viskosität bei steigenden Temperaturen besitzt.

Abschließend wurden drei verschiedene Mischungen der Firma CTS (CTS-1, CTS-3, CTS-4), erkennbar an der dicken Linien, untersucht. Bei CTS-3 und CTS-4, welche beide polymermodifizierte Spezialbitumen sind, werden etwas verbesserte Ergebnisse, als schon zuvor beim PmB 65 erzielt. Das Spezialbitumen CTS-1 ist eine gummimodifizierte Bindemittelmischung. Bei etwa 65 °C weist es noch die selbe Viskosität wie das Normalbitumen B 65 auf. Der Verlauf der Linie bei erhöhten Temperaturen ist jedoch wesentlich flacher als bei allen anderen untersuchten Bindemitteln.

Standardbitumen, wie zum Beispiel B 65 oder B 80, wird bei 160 bis 180 °C gehandhabt. Wenn man nun wiederum die Viskosität von B 65 mit CTS-1 bei 170 °C vergleichen will, stellt man fest, daß das gummimodifizierte Bitumen CTS-1 noch immer eine 30fach höhere Viskosität aufzuweisen vermag.

Wenn also Vergleiche zwischen Standardbitumen und gummimodifiziertem Bitumen gezogen werden sollen, muß das Verhalten beider Bindemittel, sowohl bei niedrigen Temperaturen, wo beide noch zähflüssig sind, als auch bei hohen Temperaturen verglichen werden. Das Spezialbitumen CTS-1 ist auch bei über 200 °C noch immer dickflüssig, was die schon erwähnten hohen Auftragemengen von ca. 3 kg/m<sup>2</sup> zuläßt.

Um die stetige Qualitätskontrolle durchführen zu können, ist es notwendig die entsprechende Viskositätskurve, wie in Abbildung 5.3 gezeigt, zu kontrollieren.



**Abbildung 5.3: Viskositätskurve**

### 5.5.3 Einfluß des eingesetzten Bitumens

#### 5.5.3.1 Bedeutung und Eigenschaften des Ausgangsbitumens

Bitumen macht mit über 80 M.-% den Hauptanteil einer Gummibitumenmischung aus. Die anschließend in Tabelle 5.7 aufgelisteten Eigenschaften von Gummibitumen sind auf das Zusammenspiel mehrerer Faktoren zurückzuführen:

- Einhalten einer exakten Rezeptur: Die zu verwendenden Anteile an Bitumen, Gummimehl und aromatischen Ölen sind mittels Laboruntersuchung vorab zu bestimmen.
- Reproduzierbarkeit der Mischprozedur: Diese muß während des gesamten Mischvorganges genau eingehalten werden und bedarf einer ständigen Überwachung.

Versuche mit drei Bitumen (A, B und C) verschiedener Herkunft zeigen, daß die Eigenschaften des Gummibitumens stark vom eingesetzten Bitumen abhängig sind. Bei dem in Tabelle 5.6 dargestellten Versuch wurde herkömmliches Industriebitumen, wie es in vielen europäischen Raffinerien erzeugt wird, verwendet, um das Gummibitumen herzustellen [22].

**Tabelle 5.6: Differenzierte Eigenschaften dreier Bitumen**

| Versuch                           | Bitumen A | Bitumen B | Bitumen C |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Erweichungspunkt RuK              | 54 °C     | 61 °C     | 70 °C     |
| Bruchdehnung [-10 °C, 10 mm/Min.] | > 400 %   | > 400 %   | 80 %      |

Beim Gummibitumen, das mit dem Bitumen A modifiziert wurde, beträgt die Bruchdehnung bei einer Temperatur von -10 °C und einer Zuggeschwindigkeit von 10 mm/Min. mehr als 400 %. Der Erweichungspunkt RuK liegt jedoch um 7 °C unter dem des Bitumen B, welches auch eine Bruchdehnung von > 400 % hat. Ein optimaler Erweichungspunkt wird mit dem Bindemittel C von 70 °C erreicht. Diese Probe reißt jedoch schon bei einer 80 %-igen Dehnung.

Zufriedenstellende Ergebnisse werden lediglich mit dem Versuch B erzielt. Der Erweichungspunkt im warmen Zustand liegt bei 61 °C und die Brüchigkeit im kalten Zustand bewegt sich über 400 %.

Die charakteristischen Eigenschaften von Gummibitumen sind anhand der nachstehenden Tabelle 5.7. veranschaulicht.

**Tabelle 5.7: Eigenschaften von Gummibitumen**

| Charakteristische Eigenschaften      | Reines Bitumen | Gummibitumen |
|--------------------------------------|----------------|--------------|
| Penetration (25 °C, 1/10 mm)         | 65             | 65           |
| Erweichungspunkt Ring und Kugel (°C) | 50             | 62           |
| Brechpunkt nach Fraass (°C)          | -16            | -18          |
| Penetrationsindex                    | -1,0           | +2,5         |

### 5.5.3.2 Prüftechnische Besonderheiten

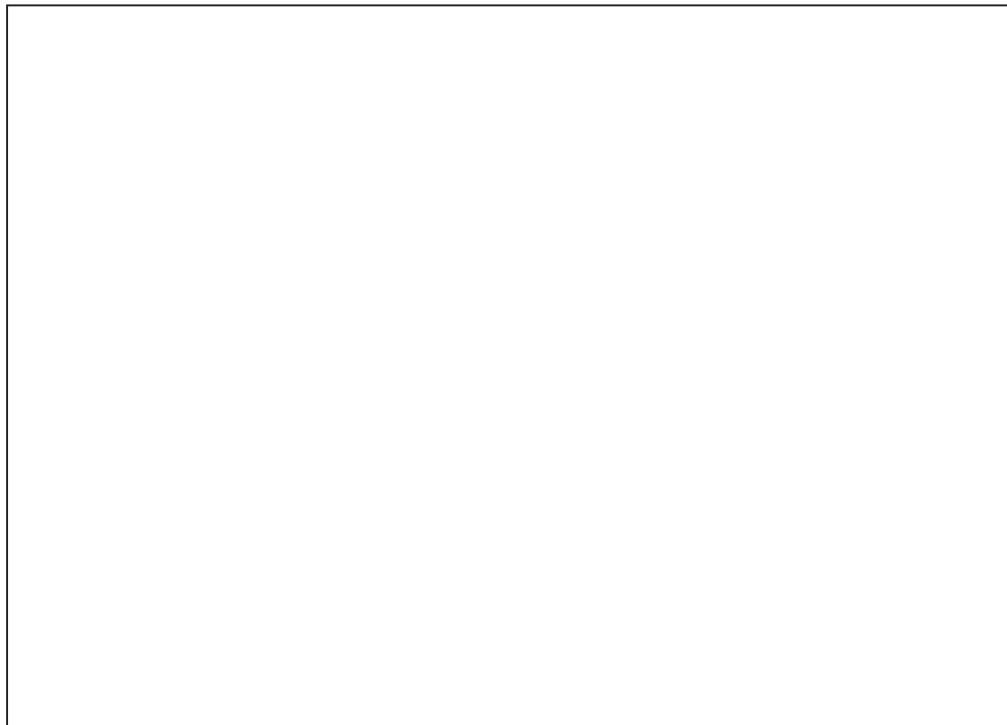
Bei den folgenden Versuchen wird jeweils Gummibitumen dem Normalbitumen (Bitumen 60/70) gegenübergestellt. Vialit-Test, Bruchdehnungs-, Alterungs- und Relaxationsversuch stammen aus der Literaturquelle [22]. Die Erklärungen zum Verschleißwiderstand, Ermüdungsfestigkeit und Viskosität bei hohen Gebraustemperaturen stammen aus der Literaturangabe [16].

#### 1. Vialit-Test (Splitthaltevermögen)

Diese Prüfmethode dient zur Ermittlung des Haltevermögens von Einstreusplitt auf Gummibitumen. Bei niedrigen Verarbeitungstemperaturen werden temperierte Metallplatten mit einem 3 mm dicken Film mit dem zu prüfenden Bitumen überzogen. Auf das noch heiße Bindemittel werden je Platte 100 Körner aufgestreut und eingedrückt. Bei dem Splitt handelt es sich zum Beispiel um 8/11 mm Körner, welche mit 0,8 % Bitumen B 100 vorumhüllt sind. Die Stahlplatten werden für mindestens zwölf Stunden bei Raumtemperatur gelagert und danach für sechs Stunden bei Minustemperaturen gekühlt. Im Anschluß daran wird eine Platte mit der Beschichtung nach unten auf drei Punkten gelagert. Aus einer Höhe von 50 cm wird mit dreimaliger Wiederholung eine Stahlkugel auf den Plattenmittelpunkt fallengelassen. Um keine verfälschten Ergebnisse zu erhalten, dürfen maximal zwei Minuten zwischen Entnahme aus dem Kühlraum und Fallversuch vergehen. Der Versuch wird zum Beispiel in Schritten von  $-10\text{ °C}$  wiederholt. Das Splitthaltevermögen wird folgendermaßen ausgewertet: die noch haftenden Splittpartikel werden gezählt und als Prozentzahl der Anzahl der ursprünglich aufgetragenen Körner angegeben.

Das Ergebnis spricht auch hier wieder für das Gummibitumen. Reines Bitumen wird schon ab  $20\text{ °C}$  brüchig und bei  $0\text{ °C}$  ist das Splitthaltevermögen gleich Null. Gummimodifizierte Bindemittel hingegen verzeichnen bei  $-25\text{ °C}$  noch keinen Splittverlust, und bei  $-40\text{ °C}$  ist das Haltevermögen des Bitumens immer noch 80 %. Das bedeutet, daß die Kälteflexibilität von Gummibitumen bei stoßartiger Beanspruchung und tiefen Temperaturen um vieles besser als bei konventionellem Bitumen ist. Bei dem in

Abbildung 5.4 dargestellten Versuch wird Gummibitumen mit Bitumen 60/70 verglichen. Die Aufsplittung erfolgt bei 200 °C und Splittkörnern 10/14.

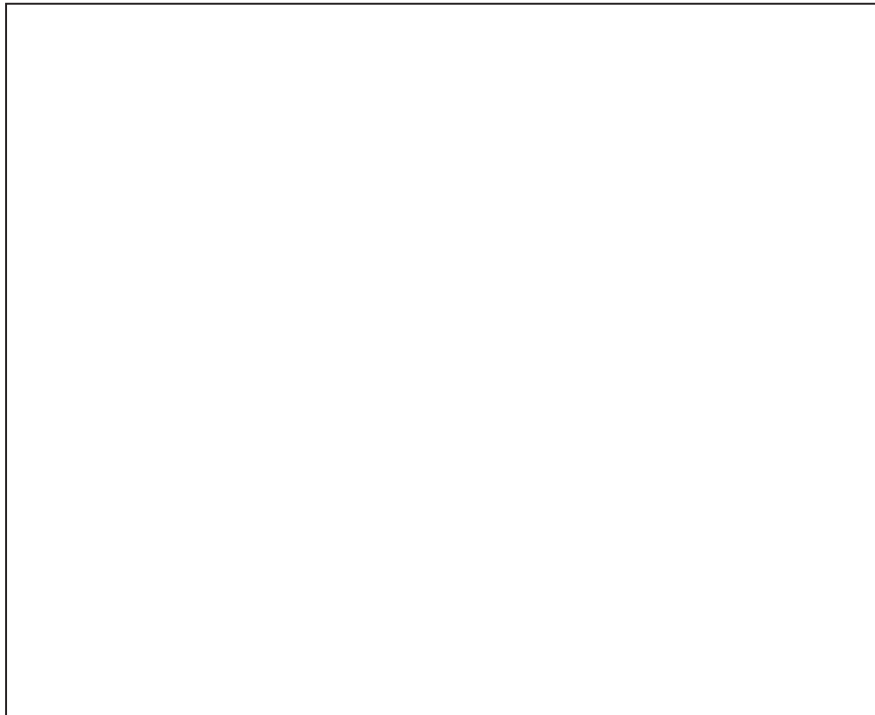


**Abbildung 5.4: Vialit-Test (Schlagfestkeitsversuch)**

## **2. Bruchdehnungsversuch (Kaltbrüchigkeit)**

Mit dem Bruchdehnungsversuch werden elastomere Eigenschaften eines Stoffes, in diesem Fall eines Bindemittels, bei ständig sinkenden Temperaturen nachgewiesen. Er wird bei einer Zuggeschwindigkeit von 10 mm/Min. durchgeführt. Beim Bitumen 60/70 ist die Elastizität bis zum Erreichen der Null-Grad-Grenze vorhanden, danach reißt es. Gummibitumen verhält sich jedoch bis  $-10\text{ °C}$  wie ein Elastomer und kann eine Dehnung von bis zu 300 % ertragen. Ein Bruch tritt erst bei einer Temperatur von  $-20\text{ °C}$  ein. Das bedeutet, daß Gummibitumen wesentlich niedrigeren Temperaturen standhalten kann als Normalbitumen, bevor ein Bruch eintritt (Abbildung 5.5).





**Abbildung 5.5: Bruchdehnung in Abhängigkeit von der Temperatur**

### 3. Alterungsversuch

Mit diesem Versuch soll das Alterungsverhalten von Bitumen mit dem RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) festgestellt werden. Als Versuchsanlage werden zylindrische Probengläser, die dünne Bitumenfolien beinhalten, verwendet. Diese Gläser rotieren für 75 Minuten bei einer Temperatur von 163 °C. Bei Bitumen 60/70 ist die Penetration auf 58 % des Anfangswertes gesunken, beim Gummibitumen jedoch nur auf 87 %. Diese Simulation sagt aus, daß das Gummibitumen keine bedeutenden Veränderungen in der Mischanlage erfährt. Damit ist sichergestellt, daß das angelieferte Gummibitumen auch später auf der Straße noch die selben Eigenschaften besitzen wird.

### 4. Relaxationsversuch

Beim Relaxationsversuch wird ein Stoff so lange einer Belastung ausgesetzt, bis sich ein Erschlaffungszustand einstellt. Das Bindemittel wird bei einer Geschwindigkeit von 100 mm/Min. und einer Temperatur von 20 °C um 100 % gedehnt. Beim Gummibitumen stellt sich die Ermüdung viel langsamer ein. Dies ist auf das Elastomerverhalten zurückzuführen (Abbildung 5.6).



**Abbildung 5.6: Minderung der Elastizität**

### 5. Verschleißwiderstand

Die hohen elastischen Eigenschaften der Deckschicht bewirken eine Absorption eines überwiegenden Teils der Stöße durch den Belag. Aufgrund dieses Verschleißwiderstandes kommt es zu einem verringerten Abrieb der Straßendecke.

### 6. Ermüdungsfestigkeit

Bei einer, im Versuch nachgestellten Lastbeanspruchung von  $10^6$  Wiederholungen wird Flüster-Asphalt® und konventioneller Drainasphalt mit herkömmlichem, dichten Asphaltbeton verglichen. Flüster-Asphalt® weist 80 % und Drainasphalt nur 30 % der Zeitfestigkeit eines konventionellen Asphaltbetons auf. Auch kann Flüster-Asphalt® eine 100-fach höhere Beanspruchung, in bezug auf bleibende Verformungen unter Fahrzeugbelastung, ohne höhere dauerhafte Veränderungen am Belag aufnehmen.

### 7. Viskosität bei hohen Gebrauchstemperaturen

Voraussetzung, damit sich kaum Spurrinnen ausbilden, ist eine qualitativ hochwertige und exakt aufgebrauchte Membran zwischen Beton- bzw. Asphaltfahrbahndecke und Drainasphalt. Ein zweiter wichtiger Punkt ist der verwendete Splitt, sowohl für das

Absplitten der Membran als auch als Bestandteil des Drainasphalt selbst. Dieser muß in beiden Fällen einen Los-Angeles-Wert<sup>1</sup> kleiner als 20 aufweisen. Je höher Kohäsion und Viskosität sind, desto besser ist der kohäsive Verformungswiderstand. Bei Flüster-Asphalt® kommt es beinahe zu keiner Spurrinnenbildung, da Membranverarbeitung, Kohäsion und Viskosität optimal sind.

#### 5.5.4 Haltbarkeit und Lagerstabilität von Gummibitumen

Gummibitumen ist gegenüber herkömmlichen Bitumen dauerhafter, da

1. die Antioxidantien im Gummi eine günstige Wirkung auf das Bitumen ausüben,
2. im Reifen ein sogenanntes Rubber extender oil vorhanden ist, welches auch sonst in Asphaltmischungen beigemischt wird. Diese Öle sind Belagsregenerierungsmitteln sehr ähnlich,
3. der im Gummi enthaltene Ruß die Lebensdauer verlängert und
4. die ungelösten Gummipartikel wie ein Filter gegenüber den ultravioletten Strahlen wirken.

Die Lagerstabilität von Gummibitumen ist von folgenden drei Faktoren abhängig:

- Lagertemperatur,
- Heißlagerzeit des Gummibitumens,
- Anteil der ungelösten Gummipartikel.

Ein wichtiger Faktor für die Lagerstabilität von Gummibitumen ist die Temperatur. Sowohl Gummi als auch Bitumen haben eine sehr schlechte Wärmeleitfähigkeit. Eine Temperaturreduktion bzw. -erhöhung des gummimodifizierten Bindemittels bedarf einiger Stunden. Dennoch muß eine möglichst konstante Temperatur um die 200 °C eingehalten werden, um die Lagerstabilität aufrecht zu erhalten. Wenn die Temperatur des Gemisches ca. 220 °C übersteigt, beginnen die Gummi- und Bitumenpartikel zu verspröden. Bei Temperaturen von weniger als ca. 160 °C kann kein Gummi mehr aufgeschlossen werden, da ein Verbindungsprozeß bei so geringen Mischguttemperaturen nicht mehr stattfinden kann.

Die Lagerbeständigkeit wird anhand der Verringerung der ungelösten Gummipartikel im Spezialbitumen bei konstanter Temperatur ersichtlich. Die Daten in der Tabelle 5.8 stammen

---

<sup>1</sup> Detaillierte Erklärungen zum Los-Angeles-Test sind im Kapitel „Kantabro-Test“ festgehalten.

aus einem fünftägigen Versuch. Es wurde eine Herstellqualität fünf Tage gelagert und jeden Tag eine Sammelprobe aus fünf verschiedenen Bitumenproben genommen. Diese wurde auf die Löslichkeit des Gummigranulates im Destillationsbitumen in Abhängigkeit der Heißlagerungszeit untersucht. Pro Tag wurden jeweils zwei zeitgleiche Versuche durchgeführt und der Mittelwert gebildet.

**Tabelle 5.8: Löslichkeit von Gummipartikel im Spezialbitumen**

| Heißlagerzeit | Temperatur | Löslicher Anteil im Bitumen<br>[Gew.-%] |          |          | Unlöslicher Anteil<br>[Gew.-%] |
|---------------|------------|---|----------|----------|--------------------------------|
|               | [°C]       | 1. Probe                                | 2. Probe | 3. Probe |                                |
| 1. Tag        | 190 °C     | 89,88                                   | 90,17    | 90,02    | 9,98                           |
| 2. Tag        | 190 °C     | 90,54                                   | 89,96    | 90,25    | 9,75                           |
| 3. Tag        | 190 °C     | 92,10                                   | 92,13    | 92,12    | 7,88                           |
| 4. Tag        | 190 °C     | 96,02                                   | 95,94    | 95,98    | 4,02                           |
| 5. Tag        | 190 °C     | 96,63                                   | 97,07    | 96,85    | 3,15                           |

Aus dem Versuch wird ersichtlich, daß sich die Menge an ungelösten Gummiteilchen bei konstant gehaltener Temperatur von 190 °C, über die Zeit betrachtet, reduziert.

Bei den ersten beiden Messungen blieb der lösliche Anteil mit etwa 10 M.-% annähernd konstant. Bei einer weiteren Exposition gingen bis zur dritten Messung im Mittel weitere 1,87 M.-% in Lösung. Vom dritten auf den vierten Tag konnte ein Knick in der Kontinuität verzeichnet werden. Die 7,88 M.-% ungelöstes Gummimehl, die am dritten Tag festgestellt wurden, erfuhren innerhalb der nächsten 24 Stunden nahezu eine Halbierung. Am fünften Tag waren die ungelösten Anteile auf gut 3 M.-% reduziert worden.

Damit es zu keiner Entmischung und einem Absetzen der Gummipartikel kommt, muß das Gummibitumen ständig in Bewegung gehalten werden. Hierfür muß die Temperatur jedoch zwischen 170 und 190 °C gehalten werden. In diesem Wärmebereich kommt es, wie im Versuch gezeigt, zu einer unerwünschten Reduktion der ungelösten Gummiteilchen im Bitumen. Bei zu langer Lagerung geht eine zu große Menge an Gummi in Lösung, was die Viskosität wiederum negativ beeinflusst.

Eine Lagerstabilität bei der benötigten Heißlagertemperatur ist also nur über einen kurzen Zeitraum möglich, um ein Minimum an ungelösten Gummipartikeln gewährleisten zu können.

Mit einer weiteren Versuchsdurchführung mit Spezialbitumen können weitere Auswirkungen und Zusammenhänge einer Verringerung der ungelösten Gummimehlanteile ersichtlich gemacht werden (Tabelle 5.9).

**Tabelle 5.9: Diverse Eigenschaften von Spezialbitumen bei Heißlagerung**

| Heißlagerzeit | Temperatur | Löslicher Bindemittelanteil | Erweichungspunkt RuK | Elastische Rückstellung | Riß bei Fadenlänge |
|---------------|------------|-----------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|
|               | [°C]       | [Gew.-%]                    | [°C]                 | [%]                     | [cm]               |
| 1. Tag        | 190 °C     | 90,02                       | 68,3                 | 75                      | 16,0               |
| 2. Tag        | 190 °C     | 90,25                       | 67,9                 | 72,7                    | 16,5               |
| 3. Tag        | 190 °C     | 92,12                       | 65,9                 | 71,8                    | 17,0               |
| 4. Tag        | 190 °C     | 95,98                       | 53,9                 | 51,0                    | 15,5               |
| 5. Tag        | 190 °C     | 96,85                       | 53,0                 | 51,5                    | 16,5               |

Die Untersuchung wurde im Rahmen der Löslichkeitsbestimmung des Gummis durchgeführt. Aus der oben stehenden Tabelle ist erkennbar, daß sich die untersuchten Eigenschaften, wie Erweichungspunkt und elastische Rückstellung, mit einer Abnahme der ungelösten Gummibestandteile proportional reduzieren.

Auch hier wird wieder der Sprung in der Kontinuität vom dritten zum vierten Tag ersichtlich. Der Erweichungspunkt RuK sank in den ersten drei Tagen um insgesamt 2,4 °C. Danach kam es in nur 24 Stunden zur Reduktion um 12 °C. Die selben Sprünge sind bei der elastischen Rückstellung zu erkennen. Eine Senkung um 3,2 % in den ersten drei Tagen ist einer Verringerung von 20,8 % von Tag drei auf vier gegenüberzustellen. Positiv zu erwähnen ist, daß das Bindemittel auch nach fünftägiger Lagerung bei 190 °C noch eine elastische Rückstellung von mehr als 50 % aufweisen kann. Ein Reißen trat im Bereich von 15,5 bis 17 cm Fadenlänge ein.

In den folgenden Tabellen soll die Veränderung der Bindemiteleigenschaften anhand drei verschiedener Gummibitumenmischungen (A, B und C) bei Heißlagerung aufgezeigt werden. Als Bitumen wurde Bitumen B 65 verwendet. Die Lagerung erfolgte im Trockenschrank bei 200 °C. Die Messungen wurden in 24 Stunden Abständen durchgeführt (Tabelle 5.10 bis Tabelle 5.12).

**Tabelle 5.10: Heißlagerung Gummibitumenmischung A**

Mischgutzusammensetzung A: 89,0 M.-% Bitumen B 65  
11,0 M.-% Gummimehl

| Untersuchung            | Einheit            | Kenndaten des Bitumens | 24 h  | 48 h |
|-------------------------|--------------------|------------------------|-------|------|
| Erweichungspunkt RuK    | °C                 | 55,0-65,0              | 57,5  | 51,0 |
| Nadelpenetration        | 1/10 mm            | 50 – 70                | 55,0  | 87,0 |
| Brechpunkt nach Fraass  | °C                 | Max. -20,0             | -13,0 | -9,0 |
| Duktilität bei 25 °C    | cm                 | -                      | 26,5  | 25,6 |
| Elastische Rückstellung | %                  | Mind. 50,0             | 71,1  | 45,3 |
| Viskosität bei 200 °C   | mm <sup>2</sup> /s | 1.000 – 15.000         | 1232  | 363  |

**Tabelle 5.11: Heißlagerung Gummibitumenmischung B**

Mischgutzusammensetzung B: 88,0 M.-% Bitumen B 65  
12,0 M.-% Gummimehl

| Untersuchung            | Einheit            | Kenndaten des Bitumens | 24 h  | 48 h  |
|-------------------------|--------------------|------------------------|-------|-------|
| Erweichungspunkt RuK    | °C                 | 55,0-65,0              | 57,0  | 49,5  |
| Nadelpenetration        | 1/10 mm            | 50 – 70                | 59,0  | 91,0  |
| Brechpunkt nach Fraass  | °C                 | Max. -20,0             | -15,0 | -11,0 |
| Duktilität bei 25 °C    | cm                 | -                      | 24,7  | 23,3  |
| Elastische Rückstellung | %                  | Mind. 50,0             | 66,4  | 42,1  |
| Viskosität bei 200 °C   | mm <sup>2</sup> /s | 1.000 – 15.000         | 1173  | 308   |

**Tabelle 5.12: Heißlagerung Gummibitumenmischung C**

Mischgutzusammensetzung C: 84,0 M.-% Bitumen B 65  
 15,0 M.-% Gummimehl  
 1,0 M.-% Weichmacher

| Untersuchung            | Einheit            | Kenndaten des Bitumens | 24 h  | 48 h  | 72 h  |
|-------------------------|--------------------|------------------------|-------|-------|-------|
| Erweichungspunkt RuK    | °C                 | 55,0-65,0              | 60,0  | 53,0  | 49,0  |
| Nadelpenetration        | 1/10 mm            | 50 – 70                | 61,0  | 63,0  | 113,0 |
| Brechpunkt nach Fraass  | °C                 | Max. -20,0             | -21,0 | -22,0 | -10,0 |
| Duktilität bei 25 °C    | cm                 | -                      | 24,0  | 22,0  | 25,0  |
| Elastische Rückstellung | %                  | Mind. 50,0             | 75,0  | 61,8  | 38,4  |
| Viskosität bei 200 °C   | mm <sup>2</sup> /s | 1.000 – 15.000         | 1668  | 634   | 349   |

Wenn die Tabellen 5.10 bis 5.12 miteinander verglichen werden ist ersichtlich, daß unterschiedliche Ergebnisse bei Mischungen mit verschiedenen Anteilen von Gummimehl und Bitumen erzielt werden. Aus diesem Grund ist vorab eine exakte Untersuchung notwendig.





## 6 Transport und Verarbeitung von gummimodifiziertem Bitumen im Asphalt

### 6.1 Asphalt

Asphalt, als Gemisch von Bitumen und Mineralstoffen, ist kein Produkt der Mineralölproduktion, sondern einer eigenen Industrie. Er wird vornehmlich technisch hergestellt und findet im Straßenbau Anwendung. Es gibt jedoch auch natürlich vorkommende Asphalte, wie

- Asphaltgestein (z.B.: Asphaltsande und Asphaltkalkstein, beide mit einem hohen Gehalt an Mineralstoffen),
- Asphaltite (z.B.: Gilsonit, welches hohe Bitumenhärte und niedrigen Mineralstoffgehalt aufweist), und
- Naturasphalte (z.B.: Trinidad-Asphalt, welcher im Trinidad-See abgebaut wird. Das Verhältnis Bitumen zu Gesteinstoffen beträgt ca. 50:50) [21].

Herkömmlicher Asphalt ist im wesentlichen eine Mischung aus den natürlichen Rohstoffen Splitt, Sand, Füller und Bitumen als Bindemittel. Um die Eigenschaften und das Verhalten des Asphaltes zu verändern, können Modifizierungsmittel, Haftverbesserer, Fasern usw. beigefügt werden.

### 6.2 Membran

Vor dem Aufbringen einer hohlraumreichen Deckschicht ist es erforderlich, eine Membran als Zwischenschicht aufzubringen. Diese muß folgende Anforderungen erfüllen:

- dauerhafte Rißversiegelung,
- Herstellung der Verbindung zur darüberliegenden, hohlraumreichen Deckschicht,
- Gewährleistung der Schubsicherheit,
- Sicherheit gegen Durchlässigkeit von Flüssigkeiten in die darunter befindlichen Beton- oder Asphaltfahrbahnen,
- Erhöhung der Lrmabsorption der oberhalb aufgebraachten, hochwertigen Drainasphaltschicht.

Eine Hauptaufgabe der Membran ist die Rißversiegelung. Sie soll verhindern, daß sich die Risse auf die Oberflchendeckschicht übertragen. Hohe Spannungen führen dazu, daß sich die vorhandenen Risse im Untergrund direkt in die Deckschicht fortpflanzen. Zu einer effektiven Straenerhaltungsmanahme zählt es, die Risse auf Dauer zu versiegeln. Die konventionelle Methode war das Verfüllen der Risse mit flexiblen Materialien.

## 6.2.1 Rißarten und ihre Entstehung

Auf Betonstraßendeckschichten treten drei Arten von Rissen auf:

- Reflexionsrisse und verwandte Risse entstehen aufgrund von Volumens- und Temperaturänderungen.
- Alligator- oder Ermüdungsrisse kommen durch Einbaufehler und Unterdimensionierung zustande.
- Spannungsrisse entstehen aufgrund der Gleitfähigkeit. Diese können nur durch eine Änderung der Struktur behoben werden.

Reflexionsrisse kommen am häufigsten vor und pflanzen sich nach einem Bruch in der Grundform fort. Die anderen zwei Arten sind auf fehlerhafte Beschaffenheit unterhalb des Belags zurückzuführen.

Zu Beginn pflanzen sich Risse nur in horizontaler Richtung fort. Sie werden durch die Tragschicht reflektiert. Es entstehen quadratische Flecken im Abstand von 2 bis 3 m, und nach einiger Zeit scheint die Rißbildung ihr Ende gefunden zu haben. Spätestens zu diesem Zeitpunkt sollte eine Rißversiegelung vorgenommen werden. Ansonsten kann es zum Wassereintritt in die Betondeckschicht kommen. Wird das Aufbringen einer Membran verabsäumt, kommt es zur Rißfortpflanzung von der horizontalen in die vertikale Richtung. Schlaglöcher können sich bilden, und eine effektive Abdeckung wird schwieriger und kostspieliger.

Grundsätzlich ist zu unterscheiden, ob der Asphalt in Gegenden mit viel oder wenig Regen aufgebracht wird.

### Feuchtgebiete – Regionen mit hohen Niederschlägen

Die Zerstörung von Deckschichten in Gebieten mit hohen Niederschlägen erfolgt durch das Eindringen von Wasser in vorhandene Risse. Wiederholte Verkehrsbelastung führt dazu, daß Feinanteile aus unteren Schichten mit dem Wasser an die Oberfläche gepumpt werden. Sie hinterlassen weiße Pulverlinien an der Oberfläche. Mit der Zeit tritt eine Zerstörung der Tragschicht ein, und die Verkehrssicherheit wird durch Schlaglöcher gefährdet. Auch durch Grünstreifen entlang der Fahrstrecke können zusätzliche Wassermengen in den Straßenuntergrund gelangen. Die Reparatur mit einer Membran ist erst dann sinnvoll, wenn sichergestellt wurde, daß ein ausreichendes Drainagesystem vorhanden ist.

### **Trockengebiete**

In Trockengebieten spielen die Temperaturschwankungen (Winter -25°C, Sommer 50 °C) in der Asphaltbetondecke bei etwa 50 mm Tiefe eine wesentliche Rolle. Vorhandene Risse verengen sich bei steigenden Temperaturen aufgrund der Ausdehnung des Asphalts und dehnen sich wieder bei Abkühlung. Dann haben Sand und Staub die Möglichkeit, sich in den Rissen abzulagern. Bei einer erneuten Verengung der Risse kommt es nun zum Abrieb von Asphalt durch die Sandkörner. Vor allem bei geringem Verkehrsaufkommen, und daraus resultierender geringeren mechanischen Belastung der Oberfläche, verbreitern sich die Risse mit der Zeit und es können ebenfalls Schlaglöcher entstehen [23].

### **6.2.2 SAMI-Schicht als Membran**

Der Aufbau und die Zusammensetzung der SAMI wurde schon vorab erläutert. Der Hauptvorteil der SAMI-Schicht besteht darin, daß die hohlraumreiche Deckschicht ihre drainagierende Wirkung voll entfalten kann, und die Membran anschließend das eingedrungene Wasser in vertikaler Richtung zu den Entwässerungsrinnen ableitet. Somit werden auch darunterliegende Lagen alterungsbeständiger, da sie keiner Oxidation oder Beeinflussung durch Wasser mehr ausgesetzt sind. Die Nutzungsdauer bei einer SAMI-Schicht kann bis zu dreimal länger sein als bei herkömmlichen Oberflächenbehandlungen.

Beim Verarbeiten einer SAMI-Schicht mit darüberliegendem Drainasphalt ist darauf zu achten, daß für beide Schichten das selbe Bindemittel verwendet werden muß, damit eine ausreichende Haftung zwischen den Schichten gewährleistet werden kann.

Die optimalen Eigenschaften von gummimodifiziertem Bindemittel für SAMI-Schichten wurden im Labor analysiert und sind in Tabelle 6.1 dargestellt.

**Tabelle 6.1: Qualitätsstudie: gummimodifiziertes Bindemittel für SAMI**

| Untersuchungen   | Anzustrebende Werte         |
|--|-----------------------------|
| Nadelpenetration                                       | mind. 50 1/10 mm            |
| Erweichungspunkt Ring und Kugel                        | mind. 55 °C                 |
| Brechpunkt nach Fraaß                                  | unter -20 °C                |
| Elastische Rückstellung                                | mind. 50 %                  |
| Bindemittelermüdung Dauerbiegebeanspruchung bei -10 °C | mind. 5.000 Durchbiegungen  |
| Dehnbarkeit bei tiefen Temperaturen:                   |                             |
| -10 °C   | mind. 2,5 mm                |
| -20 °C   | mind. 1,0 mm                |
| Haftfestigkeit auf der Unterlage bei 0 °C              | mind. 1,0 N/mm <sup>2</sup> |
| Nach Alterung im Modelltopf:                           |                             |
| Erweichungspunkt RuK                                   | +/- 2 °C                    |
| Nadelpenetration                                       | +/- 5 °C                    |

Wenn die Risse und Flecken nur an einigen wenigen Stellen auftreten, reicht ein Aufbringen von Membranstreifen. Sind die Deformationen jedoch über einen weitläufigeren Teil der Strecke anzutreffen, ist eine sogenannte Gesamtflächenmembran notwendig. In der folgenden Übersicht (Tabelle 6.2) sind diese zwei Arten aufgelistet und ihre Anwendbarkeit erläutert [23].

**Tabelle 6.2: Membranstreifen und Gesamtflächenmembran**

|                        | <b>Membranstreifen</b>   | <b>Gesamtflächenmembran</b>  |
|------------------------|--|--|
| Rißflecken             | Ausgedehnte Verteilung und rissig  | Max. 2 m   |
| Oberflächendeformation | Ziemlich ausgedehnt; einige Schlaglöcher                                   | Geringe Ausdehnung; keine Schlaglöcher   |
| Ort                    | Einfache und zweifache Fahrstreckenabschnitte; Kreuzungen und Stoppstraßen | Einfache und zweifache Fahrstreckenabschnitte; wenig Kreuzungen und Stoppstraßen |
| Anwendung              | Mechanisches Sprühen und Legen; Verkehrs-umleitung notwendig               | Arbeitsintensiv; Absperrung der halben Straßenbreite                             |
| Oberfläche             | Mischgutdeckschicht  | Zweifache Absiegelung, grober Splitt, Slurry, Mischgutdeckschicht                |

Auf die Membran wird der mit hochelastischem Bitumen hergestellte Drainasphalt in einer Dicke von 3 bis 8 cm eingebaut und anschließend verdichtet.

### 6.3 Asphaltmischanlage

In der Asphaltmischanlage kann entweder Heiß- oder Kaltmischgut hergestellt werden.

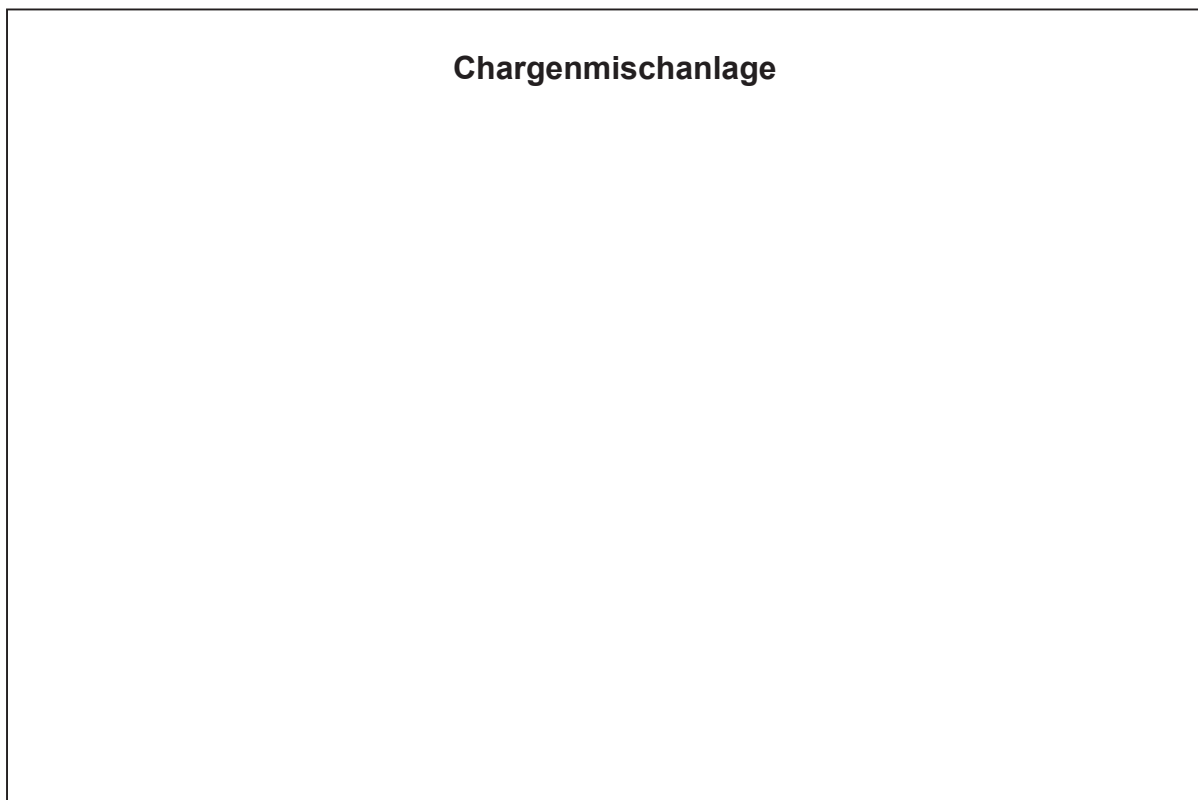
Asphalt heißmischgut besteht aus ca. 93 – 96 M.-% Mineralstoffen abgestufter Körnung, Füller und Beifügung von Additiven. Der restliche Teil der Mischung wird vom Bitumen getragen, welches den Asphalt verklebt. Füller dienen einerseits zur Verbesserung der Verklebung und andererseits dazu, dem Bindemittel die Stabilität zu verleihen. Zu den verschiedenen Sorten des Heißmischgutes zählen Asphaltbeton, Hot Rolled Asphalt, Asphaltmastix, Gußasphalt, Splittmastixasphalt und Drainasphalt (offenporiger Asphalt).

Kaltmischgut wird mit Bitumenemulsionen anstelle von Heiß-Bitumen hergestellt. Die Verarbeitung erfolgt bei Umgebungstemperatur, da eine Herstellung mit geringer Wärmezugabe möglich ist. Es findet seine Anwendung in Ausbesserungsarbeiten an Fahrbahndeckschichten. Dem Kaltmischgut sind Ölschotter, Mischgut aus Ausbauasphalt und Zement und Bitumenemulsion, sowie Mischgut aus Mineralstoffen und Zement, Wasser und Bitumen zurechenbar.

Für diese Arbeit ist lediglich die Verwendung von gummimodifiziertem Bitumen für Splittmastixasphalt und Drainasphalt von Bedeutung. Auf die anderen soeben genannten Asphaltmischgutarten soll aus diesem Grund nicht näher eingegangen werden.

### 6.3.1 Chargenmischanlage [24]

Zur Produktion des Heißmischgutes, wie Splittmastixasphalt oder Drainasphalt findet eine sogenannte Chargenmischanlage Verwendung. In Abbildung 6.1 wird ein Flußdiagramm des Herstellungsprozesses dargestellt.



**Abbildung 6.1: Chargenmischanlage**

Die Mineralstoffe werden für gewöhnlich in der näheren Umgebung oder direkt an der Asphaltmischanlage gelagert. Es ist darauf zu achten, daß der Feuchtigkeitsgehalt so gering wie möglich gehalten wird, um den Energieverbrauch nicht unnötig in die Höhe zu treiben.

Das Rohmaterial wird mittels Radlader zu den entsprechenden Vordoseuren befördert und dort, je nach gewünschter Mischgutsorte, in die entsprechende Mineralgutmischungen portioniert.

Mit einem Förderband erfolgt der Transport in die rotierende Trockentrommel, welche ein Stahlzylinder mit Einbauten an der Innenseite ist. Am Kopfende der Trommel befindet sich

ein mit Gas, Öl oder Kohlenstaub betriebener Brenner. Der Wärmeübergang findet überwiegend durch Strahlung statt. Die Rotation bewirkt, daß die Einbauten das Material anheben, dieses anschließend den heißen Luftstrom in der Trommel durchquert und wieder zu Boden fällt. Eine leichte Neigung der Trommel führt dazu, daß das Material durch ständiges Aufwirbeln und Absenken langsam vorwärts wandert. Die Materialbeförderung erfolgt stromabwärts, d.h. Gasstrom und Materialstrom bewegen sich in entgegengesetzter Richtung. Neigung, Rotationsgeschwindigkeit und Form der Einbauten sind wichtige Parameter für die Trocknung und Aufheizung der Mineralstoffe.

Am kalten Trommelende werden Abgase und Wasserdampf abgesaugt. Es erfolgt eine Reinigung mittels Staubfilter (Gewebefilter, einfache Naßabscheider oder Zyklonabscheider) und die Luft wird anschließend an die Atmosphäre abgegeben. Der abgeschiedene Staub (Füller) kann entweder kontinuierlich bzw. chargenweise in den Mischprozeß zurückgeführt oder in einem entsprechenden Silo gelagert werden.

Nach Verlassen der Trockentrommel werden die Mineralstoffe, die nun eine Temperatur von 135 – 180 °C aufweisen, von einem Heißelevator (Becherwerk) zur Spitze des Mischturmes befördert. Über Schwingsiebe erfolgt eine Auftrennung nach Korngröße mit anschließender getrennter Lagerung in beheizten Silos. Je nach gewünschter Asphaltzusammensetzung werden die einzelnen Kornfraktionen eingewogen.

Die nächste Station ist der Mischer, meist ein Doppelwellenzwangsmischer. Hier werden die Körner mit Bitumen umhüllt. Das Bindemittel wird zuvor in einem beheizten Lagertank aufbewahrt, in der entsprechenden Menge eingewogen und in den Mischer eingedüst. Zur selben Zeit erfolgt auch die Zugabe einer definierten Menge an Füller. Abhängig von der Anlage und der Mischgutart bzw. Mischgutsorte beträgt die Mischzeit zwischen 25 und 90 Sekunden.

Das fertige Asphaltmischgut wird nun entweder sofort auf einen beheizten Lkw verladen oder über einen Schrägaufzug in beheizte Lagersilos befördert. Der Transport des Mischgutes mittels Lkw zur Baustelle muß innerhalb von 24 Stunden erfolgen.

### 6.3.2 Mögliche Umweltauswirkungen

Die hier aufgezählten Auswirkungen der Asphaltmischanlage auf die Umwelt sind in diversen Vorschriften und Richtlinien vieler Länder Europas festgehalten. Die Liste wurde mit abnehmender Bedeutung aufgestellt. Umweltrelevante Auswirkungen können entstehen:

- im Normalbetrieb der Anlage, sie treten bei Chargenmischanlagen diskontinuierlich auf,
- bei Abweichungen vom normalen Betrieb, bedingt durch Störungen oder Produktionswechsel. Diese sind schwer zu quantifizieren, da sie unerwartet, aufgrund verschiedenster Ursachen heraus, entstehen und
- beim Anfahren und Abstellen, sowie bei Außerbetriebnahme der Anlage infolge von Füllungs-, Reinigungs- oder Entleervorgängen.

Auswirkungen im Normalbetrieb können durch gezielte technische Vorsorgemaßnahmen vermieden bzw. vermindert werden. Auch sind eine gute Betriebsführung und ein entsprechendes Umweltmanagement hilfreich.

Emissionen können in Form von Staub, wie etwa durch Staubabgabe durch den Schornstein, oder Gas vorliegen. Bei den gasförmigen Emissionen ist zwischen anorganischen (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO und CO<sub>2</sub>) und organischen (Gesamtkohlenstoffgehalt, Dämpfe aus dem Bitumen, PAK) zu unterscheiden.

Emissionsquellen und daraus folgende wesentliche Auswirkungen der Asphaltmischanlage auf die Umwelt können sein:

- spezifische Emissionen in Zusammenhang mit der Funktion der Asphaltmischanlage,
- nicht spezifisch mit der Asphaltmischanlage zusammenhängende Emissionen, wie etwa Verbrennungsabgase.

Der lärmspezifischen Belästigung der Anrainer einer Chargenmischanlage aufgrund des Produktionsbetriebes und der Anlage selbst ist ebenfalls Bedeutung beizumessen. Bei der Anlieferung der Rohstoffe, sowie beim Abtransport des fertigen Mischgutes kommt es wegen der Lkws zu einem diesbezüglichen Lärmaufkommen. Im Anlagenbereich selbst entsteht ein entsprechender Verkehrslärm aufgrund der Radlader, welche die Mineralstoffe von der Ablagerungsstelle zum Vordoseur befördern. Aber auch die Anlage selbst birgt wesentliche Lärmquellen in sich, wie etwa der Brenner, der Exhaustor hinter der Entstaubungsanlage, die Heißabsiebung, der Heißelevator oder das Pneumatiksystem.

Es ist noch zu bemerken, daß die Lärmbeeinträchtigung für die Anrainer stark abhängig von der jeweiligen Tages- oder Nachtzeit ist. Einerseits ist der Umfang der anlagenspezifischen Aktivitäten von der Uhrzeit abhängig, und andererseits besitzt der Mensch eine erhöhte nächtliche Lärmempfindlichkeit.

Eine Belästigung der Arbeitnehmer und Anlieger kann jedoch nicht nur durch Lärm entstehen, sondern auch aufgrund des Geruches. Die Hauptquelle für den Geruch ist das Bitumen, jeweils in Abhängigkeit von der Bindemittelsorte und seiner Herkunft. Die Geruchemissionen entstehen bei der Befüllung der Bitumentanks und der Entleerung des



Mischers in den Abzugkübel oder aus dem Verladesilo in den Lkw. Unangenehme Gerüche können auch durch bestimmte Additive, wie diverse Polymersorten oder Haftverbesserer, auftreten.

Bei der Herstellung von Asphalt fällt keine Verpackung an, da das Rohmaterial in Form von Schüttgut angeliefert wird und das fertige Asphaltmischgut in Lkws abgefüllt und abtransportiert wird. Bei der im Labor durchgeführten Eigenüberwachung können Chemikalien, wie z.B. Lösungsmittel, anfallen, welche einer entsprechenden Entsorgung zugeführt werden müssen. Ebenso fällt entsprechender Abfall in der Werkstatt, der Kantine und im Büro an.

An einer Asphaltmischanlage müssen etwaige Quellen für eine Verunreinigung von Boden und Grundwasser einer kontinuierlichen Kontrolle unterzogen werden. Zu nennen sind Heizöltanks, falls zur Beheizung der Anlage Öl Verwendung findet, Laborchemikalien, Benzintanks und -leitungen, Tankstellen an der Anlage sowie eine mögliche Lagerung bestimmter künstlicher Mineralstoffe, z.B. Schlacken. Bei der zuletzt genannten Verunreinigungsmöglichkeit besteht die Gefahr des Auslaugens oder Vermischens der künstlichen Mineralstoffe mit dem natürlichen Boden [24].

## 6.4 Vorbereitungen zum Einbau des Belages

Parallel zu den oben beschriebenen Vorgängen in der Asphaltmischanlage kommt es zur Herstellung von gummimodifiziertem Bitumen. Hierfür wird ein Elastormischer in unmittelbarer Nähe der Asphaltmischanlage aufgestellt. Das frisch gemischte Bitumen wird nach Erreichen der Verarbeitungstemperatur von ca. 200 °C in sogenannte Rampenspritzgeräte zur Herstellung der SAM und SAMI gepumpt. Diese Fahrzeuge sind mit einem Heizungssystem ausgestattet, das es ermöglicht, die benötigte und die erforderliche Viskosität zu halten. An der Asphaltmischanlage wird das Spezialbindemittel in den Bitumentank umgefüllt. Danach kann der Asphalt, wie im Kapitel „Einbau des Systems Flüster-Asphalt®“ beschrieben, hergestellt werden. Der Einbau des Flüster-Asphalt® wird im gleichnamigen Kapitel beschrieben [16].

In den letzten Jahren wurde das Herstellverfahren geändert, so daß gummimodifiziertes Bitumen nun nicht mehr in unmittelbarer Nähe der Asphaltmischanlage aufbereitet wird, sondern in einem stationären Herstellwerk und mittels Tankwagen angeliefert wird.



## 7 Verarbeitung von Asphalt zu Straßenbelägen

### 7.1 Überbauungsdicke

In den USA ist bei der Auftragsvergabe ein gewisser Anteil der jährlichen Gesamtaufträge mit Gummibitumen auszuführen. Dieses Gesetz ist ein Teil des amerikanischen Highway Act (Autobahngesetz), welches alle Aspekte in bezug auf Transport und Autobahnbau, die mit staatlichen Geldern subventioniert werden, berücksichtigt. Alle Bundesstaaten müssen einen jährlich steigenden prozentuellen Anteil an Gummibitumen, bezogen auf die Gesamtmenge, verwenden. Im Jahr 1994 waren es 5 %, und der Prozentsatz wurde jährlich um weitere 5 % erhöht. Seit 1997 ist der zu verwendende Gummibitumenanteil mit 20 % des Gesamtvolumens festgelegt.

1992 wurde vom Verkehrsministerium des Bundesstaates Kalifornien eine neue Dimensionierungsrichtlinie erstellt, welche vorgibt, um wieviel eine Fahrbahn aus gummimodifiziertem Asphaltbeton gegenüber einer Standardausführung dünner sein kann, um noch immer als gleichwertig zu gelten. Es wurde ebenfalls festgelegt, welche weitere Reduktion an der Überbauungsdicke vorgenommen werden kann, wenn die gummimodifizierte Asphaltenschicht mit einer SAMI kombiniert wird. Diese Richtlinie wurde von der Bundesautobahnverwaltung (FHWA) anerkannt.

In den folgenden zwei Tabellen 7.1 und 7.2 ist die Äquivalenz von herkömmlichem zu gummimodifiziertem Asphaltbeton (ohne und mit SAMI-Schicht) in bezug auf die Tragfähigkeit bzw. die Reißüberbrückung aufgelistet [25]. Die erste Tabelle kann herangezogen werden, wenn die Tragfähigkeit entscheidend ist, die zweite, wenn das Hauptaugenmerk auf der Reißüberbrückung liegt.

Aus der Tabelle 7.1 ist ersichtlich, daß bei der Herstellung von Asphaltdeckschichten unter Verwendung von Gummibitumen eine deutliche Reduktion der Belagsstärke möglich ist, und weitere Ersparnisse mit einer SAMI-Schicht erzielt werden können.

Tabelle 7.1: Tragfähigkeitsäquivalenzen

| Herkömmlicher Asphaltbeton |                     | Gummimodifizierter Asphaltbeton <sup>(1)</sup> |                     | Gummimodifizierter Asphaltbeton mit SAMI |                     |
|----------------------------|---------------------|--|---------------------|--|---------------------|
| [ft]                       | [cm] <sup>(5)</sup> | [ft]   | [cm] <sup>(5)</sup> | [ft]                                     | [cm] <sup>(5)</sup> |
| 0,15                       | 4,6                 | 0,10   | 3,1 <sup>(2)</sup>  | -  | -                   |
| 0,20                       | 6,1                 | 0,10   | 3,1                 | -  | -                   |
| 0,25                       | 7,6                 | 0,15   | 4,6                 | 0,10                                     | 3,1                 |
| 0,30                       | 9,1                 | 0,15   | 4,6                 | 0,10                                     | 3,1                 |
| 0,35                       | 10,7                | 0,20   | 6,1                 | 0,15                                     | 4,6                 |
| 0,40                       | 12,2                | 0,20   | 6,1                 | 0,15                                     | 4,6                 |
| 0,45                       | 13,7                | 0,15   | 4,6 <sup>(3)</sup>  | 0,20                                     | 6,1                 |
| 0,50                       | 15,2                | 0,15   | 4,6 <sup>(4)</sup>  | 0,20                                     | 6,1                 |
| 0,55                       | 16,8                | 0,20   | 6,1 <sup>(3)</sup>  | 0,15                                     | 4,6 <sup>(3)</sup>  |
| 0,60                       | 18,3                | 0,20   | 6,1 <sup>(4)</sup>  | 0,15                                     | 4,6 <sup>(4)</sup>  |

- Anmerkungen:
- (1) Die maximal zulässige nicht experimentelle Äquivalenz von herkömmlichem Asphaltbeton zu gummimodifiziertem Asphaltbeton ist 2:1.
  - (2) Die zulässige Mindeststärke von gummimodifiziertem Asphalt beträgt 3,1 cm.
  - (3) Es sollte vorerst eine 4,5 cm starke Deckschicht aus herkömmlichem Asphalt verlegt werden.
  - (4) Es sollte vorerst eine 6,0 cm starke Deckschicht aus herkömmlichem Asphalt verlegt werden.
  - (5) 1 ft = 30,48 cm

Als gleichwertig kann gesehen werden, wenn an Stelle einer 9,1 cm dicken herkömmlichen bituminösen Überbauung entweder eine 4,6 cm dicke Decke aus gummimodifiziertem Asphaltbeton oder eine 3,1 cm dicke Kombination aus einer SAMI und einer Asphaltdecke mit Gummibitumen verwendet wird. Die Fahrbahnstärke kann somit um 50 – 66 % reduziert werden.

Tabelle 7.2: Äquivalenzen zur Rißüberbrückung

| Herkömmlicher Asphaltbeton |                     | Gummimodifizierter Asphaltbeton <sup>(1)</sup> |                    | Gummimodifizierter Asphaltbeton mit SAMI |                    |
|----------------------------|---------------------|--|--------------------|--|--------------------|
| [ft]                       | [cm]                | [ft]   | [cm]               | [ft]                                     | [cm]               |
| 0,15                       | 4,6                 | 0,10   | 3,1 <sup>(1)</sup> | -  | -                  |
| 0,20                       | 6,1                 | 0,10   | 3,1                | -  | -                  |
| 0,25                       | 7,6                 | 0,15   | 4,6                | -  | -                  |
| 0,30                       | 9,1                 | 0,15   | 4,6                | -  | -                  |
| 0,35                       | 10,7 <sup>(2)</sup> | 0,15   | 4,6                | 0,10                                     | 3,1 <sup>(4)</sup> |
|                            |                     | 0,20   | 6,1 <sup>(3)</sup> |  |                    |

- Anmerkungen:
- (1) Die zulässige Mindeststärke von herkömmlichem Asphaltbeton zu gummimodifiziertem Asphaltbeton beträgt 3,1 cm.
  - (2) Die vom Verkehrsministerium von Kalifornien empfohlene maximale Überbrückungsstärke liegt bei 10,7 cm.
  - (3) Bei einer Rißbreite von < 3,2 mm beträgt die Asphaltstärke 4,6 cm, bei einer Rißbreite von > 3,2 mm werden 6,1 cm verwendet.
  - (4) Bei Rißbreiten von  $\geq 3,2$  cm ist die Asphaltdecke mit Gummibitumen 3,1 cm stark auszuführen. Bei Rißbreiten  $\leq 3,2$  cm ist eine andere Strategie zu wählen.

Laut dieser Bemessungstabelle kann statt einer 9,1 cm dicken herkömmlichen bituminösen Überbauung eine 4,6 cm starke Deckschicht aus gummimodifiziertem Asphaltbeton als gleichwertig betrachtet werden.

## 7.2 Einbau des Systems Flüster-Asphalt®

Das System Flüster-Asphalt® besteht, wie schon zuvor erwähnt, aus einer Membran, welche aus gummimodifiziertem Bitumen (SAMI-Schicht) besteht und aus einem darüber aufgebrachtem speziellen Drainasphalt. Einige Stunden nach Aufbringen der SAMI-Schicht auf eine Asphalt- bzw. Betonfahrbahndeckschicht kann der Drainasphalt aufgebracht werden. Der Einbau der SAMI-Schicht und des Drainasphaltes erfolgt mit den herkömmlichen Straßenbaugeräten. Der Einbau des Drainasphaltes geschieht in folgenden Arbeitsschritten [16]:

1. Schritt: Die Membran wird auf die Betonfahrbahndecke mit einem Auftragsgerät aufgebracht. Der Arbeitsgang muß ohne Unterbrechungen, mit einer gleichmäßig verteilten Menge von 2 bis 3,5 kg/m<sup>2</sup> je nach Zustand der Unterlage, ausgeführt werden. Die Auftragstemperatur beträgt ca. 200 °C (Abbildung 7.1).

2. Schritt: Ein Splittstreuer fährt in einem Abstand von maximal 40 m hinter dem Auftragsgerät her und bedeckt die Membran mit vorumhülltem Splitt 8/12 mm. Die Auftragsmenge beträgt etwa 10 bis 15 kg/m<sup>2</sup> (Abbildung 7.2).
3. Schritt: Danach wird der aufgebrauchte Splitt durch eine Gummiradwalze verdichtet. Hierfür sind drei Walzübergänge nötig.
4. Schritt: Nach Aushärten des elastomermodifizierten Bitumens werden die überschüssigen Splittteilchen von einer Kehrsaugmaschine beseitigt.
5. Schritt: Der Drainasphalt muß mit dem selben gummimodifizierten Bitumen angefertigt sein, wie die darunterliegende Membran. Mit einem sogenannten Fertiger wird nun dieser spezielle Drainasphalt auf die abgesplittete, verdichtete Membran aufgetragen. Die Schichtdicke beträgt 4 bis 5 cm (Abbildung 7.4).
6. Schritt: Der Abschluß erfolgt durch eine vibrationslose Verdichtung mit einer Glattmantelwalze (Abbildung 7.5).

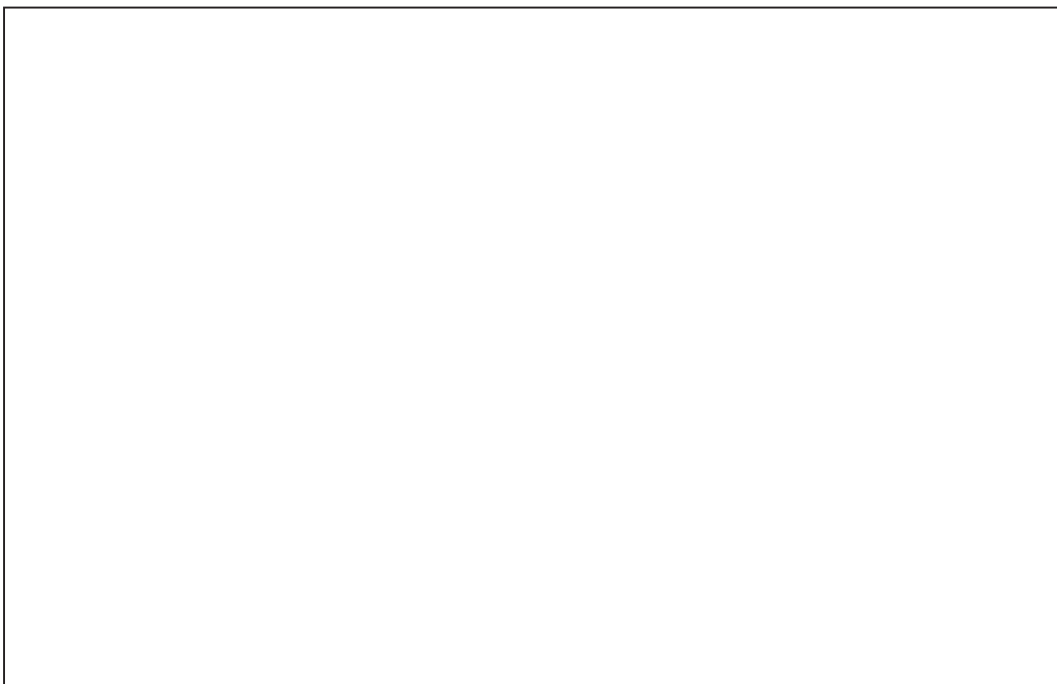
Um die erwünschte Lärminderung zu erzielen, ist eine gute Belagsebenheit notwendig, welche durch einen Beschicker verbessert werden kann. Der Verdichtungsaufwand ist bei Drainasphalt geringer als bei herkömmlichem Asphalt. Normaler Asphalt wird mit Vibrationswalzen verdichtet. Die Besonderheit bei Flüster-Asphalt® ist eine rein statische Verdichtung – mit schweren Walzen, aber ohne Vibration - wie im sechsten Schritt erwähnt.

Zur zusätzlichen Entwässerung von Drainasphalten werden Drainageprofile in die Membran miteingebaut. In Wasserablafrichtung werden in den bestehenden Straßenbelag Rinnen eingefräßt. Die entsprechenden Drainageprofile aus Aluminium haben eine quadratische Form und sind an der Oberfläche geschlitzt. Sie werden in die vorgefertigten Rinnen eingelassen und mit einem Klebeband verschlossen. Danach wird die SAMI-Schicht wie in den oben beschriebenen ersten vier Schritten aufgespritzt, abgesplittet und abgewalzt. Danach kann das Klebeband wieder von den Profilen entfernt werden. Nun kann das vorbereitete Drainageprofil mit Drainasphalt überbaut werden. Eindringende Wasserteilchen können sich nun ungehindert vorerst in vertikaler Richtung durch den Drainasphalt hindurch und anschließend horizontal in den Profilirinnen zum Straßenrand bewegen.

Anhand der folgenden Abbildungen soll der Einbau von Membran und Drainasphalt verdeutlicht werden. Die Abbildungen 7.1 und 7.2 zeigen das Aufspritzen der Membran und das anschließende Absplitten. In Abbildung 7.3 wird ein Straßenteilstück gezeigt, welches den Schichtenaufbau von Membran und Splitt darstellt. Danach folgt das Aufbringen von Drainasphalt sowie das Verdichten mit direkt hinter den Fertigern herfahrenden Glattmantelwalzen. In Abbildung 7.6 ist ein Ausschnitt einer frisch fertiggestellten Fahrbahn mit Flüster-Asphalt® dargestellt.



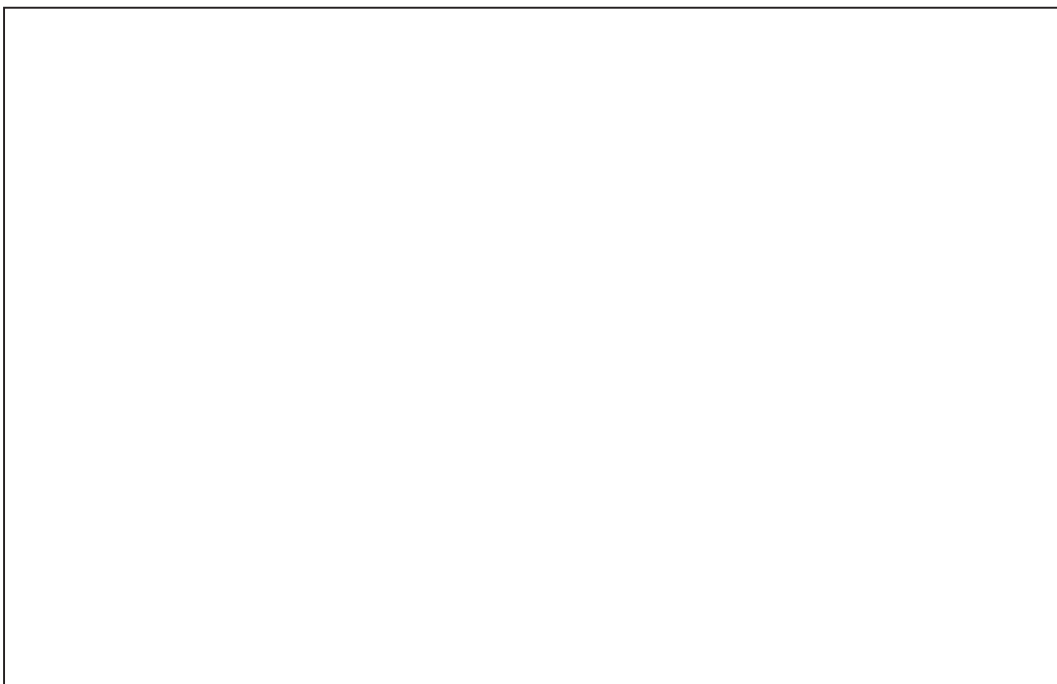
**Abbildung 7.1: Aufbringen der Membran mit dem Auftragsgerät**



**Abbildung 7.2: Absplitten der Membran mittels Splittstreuer**

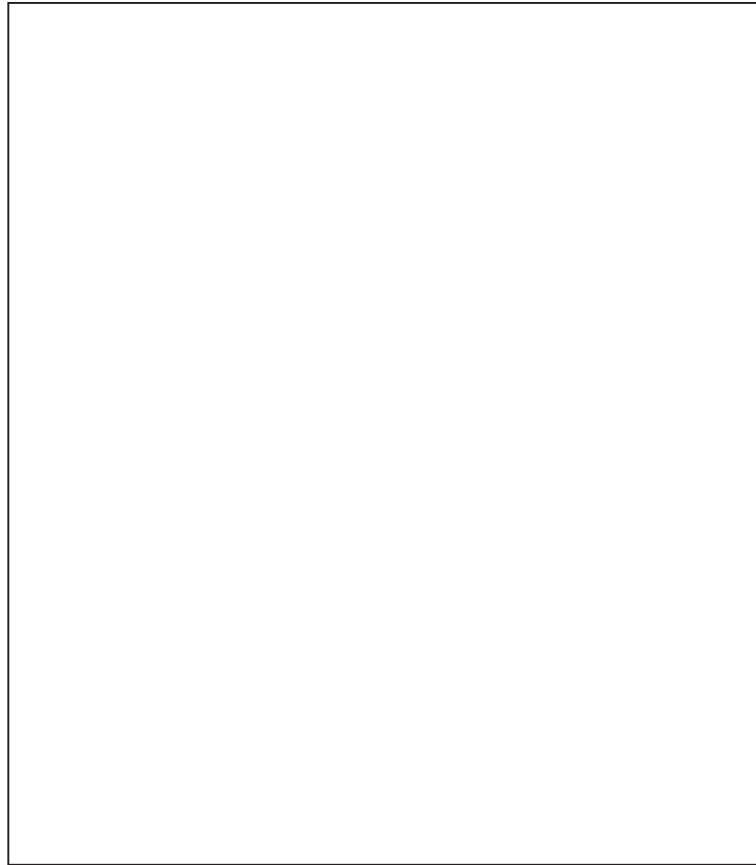


**Abbildung 7.3: Teilweise abgesplittete Membran**

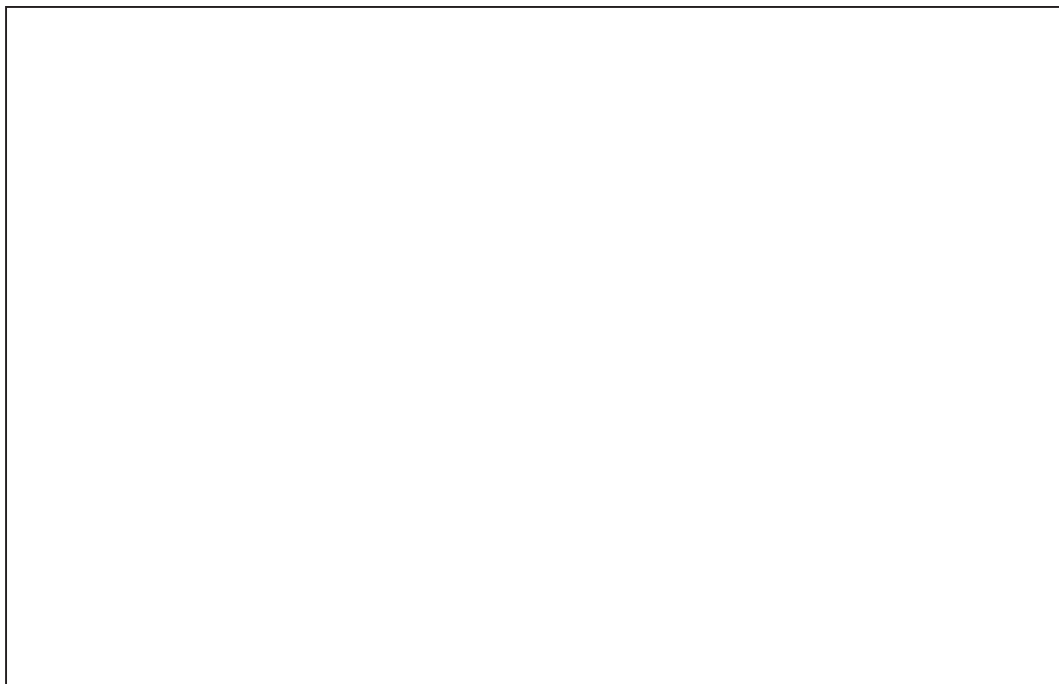


**Abbildung 7.4: Auftragen von Drainasphalt mit Fertigern**





**Abbildung 7.5: Verdichtung von Drainasphalt mit Glattmantelwalzen**



**Abbildung 7.6: Fertiggestellte Fahrbahn mit Flüster-Asphalt®**

### 7.3 Kantabro-Test

Der Kantabro-Test stellt eine Vergleichsuntersuchung bezüglich der mechanischen Widerstandsfähigkeit von Asphalten dar. Mit dieser, vor allem in Belgien, Spanien und Österreich angewandten Prüfmethode kann die zu erwartende Nutzbarkeit und Lebensdauer einer Asphaltdeckschicht ermittelt werden. Die mechanische Belastbarkeit einer Fahrbahn ist hauptsächlich von der Klebekraft, der Ermüdungsfestigkeit und den Tieftemperatureigenschaften des eingesetzten Bitumens abhängig.

Beim Kantabro-Test werden in drei Versuchsdurchführungen je ein Marshallprobekörper in der Los-Angeles-Trommel über 300 Umdrehungen lang beansprucht. Marshallprobekörper sind verdichtete Standardkörper aus offenporigem Asphalt mit beigemengtem Bindemittel, welche in der jeweils zu testenden Rezeptur hergestellt werden.

Hierbei erfolgt keine zusätzliche Beanspruchung durch in der Trommel befindliche Stahlkugeln. Die Untersuchung erfolgt bei einer Temperatur von 20 °C. Um den Materialverlust festzustellen, werden die einzelnen Marshallprobekörper vor und nach der Beanspruchung in der Trommel gewogen. Der Mittelwert aus den drei Einzelbestimmungen darf in Österreich 12 M.-% nicht übersteigen. In Deutschland gibt es hierzu keine gesetzlichen Bestimmungen. Der Gewichtsverlust liegt bei Spezialbitumen im Regelfall unter 12 M.-%.

Aus einem Vergleichsversuch mit fünf verschiedenen Bitumensorten ist ersichtlich, daß die Probekörper mit dem Spezialbitumen den geringsten Abrieb (Gewichtsverlust) aufweisen. Die einzelnen Bitumina werden mit den Buchstaben A, B, C, D und E bezeichnet, wobei A die Ergebnisse des gummimodifizierten Spezialbitumen wiedergibt, B ist ein gummimodifiziertes Bitumen mit geringer Gummizugabe, C, D und E sind polymermodifizierte Bitumen. Die Mineralstoffzusammensetzung zur Herstellung der einzelnen Marshallprobekörper wurde nicht variiert. Ein Hohlraumgehalt von 24 – 25 Vol.-% wurde angestrebt. Die dafür notwendigen Bindemittelgehalte werden in der folgenden Tabelle 7.3 gezeigt [26].

**Tabelle 7.3: Hohlraum- und Bindemittelgehalt der Untersuchungsobjekte**

| Parameter                | A           | B    | C    | D    | E    |
|--------------------------|-------------|------|------|------|------|
| Hohlraumgehalt [Vol.-%]  | <b>24,5</b> | 24,8 | 24,2 | 24,3 | 24,8 |
| Bindemittelgehalt [M.-%] | <b>6,2</b>  | 5,9  | 5,5  | 5,3  | 5,6  |

Der Abrieb bzw. Materialverlust der drei Marshallprobekörper im Los-Angeles-Gerät wurde nach 10, 50, 100, 200 und 300 Umdrehungen mittels einer Wägung bestimmt. Bei dem in Tabelle 7.4 dargestellten Versuch wurde jeweils der Mittelwert aus den drei Probesteilen

gebildet und als entsprechender Materialverlust, angegeben in M.-%, aufgelistet [25]. Es wurden die folgenden drei Kantabro-Test-Varianten durchgeführt:

1. Kantabro-Test ohne Vorbehandlung,
2. Kantabro-Test nach fünftägiger Wasserlagerung der Probekörper in einem Wasserbad bei 40 °C,
3. Kantabro-Test nach zehn Frost-Tausalz-Beanspruchungen. Der Probekörper wird für zwölf Stunden einem Frost von –20 °C ausgesetzt und anschließend zwölf Stunden in einer 15 %-igen Salzlösung aufgetaut.

**Tabelle 7.4: Kantabro-Test an fünf Drainspalten mit verschiedenen Bindemitteln**

| Umdrehungen<br>im L.A.-Gerät                        | Abrieb der jeweiligen Probe [M.-%] |      |      |      |      |
|---|------------------------------------|------|------|------|------|
|   | A                                  | B    | C    | D    | E    |
| <b>1. Ohne Vorbehandlung</b>                        |                                    |      |      |      |      |
| 10  | 0,1                                | 0,2  | 0,3  | 0,1  | 0,2  |
| 50  | 1,9                                | 2,1  | 1,7  | 1,2  | 1,6  |
| 100   | 3,4                                | 3,5  | 4,4  | 4,3  | 5,4  |
| 200   | 6,0                                | 8,5  | 9,4  | 9,3  | 12,6 |
| 300   | 10,5                               | 13,5 | 14,6 | 13,7 | 17,2 |
| <b>2. Nach fünftägiger Wasserlagerung bei 40 °C</b> |                                    |      |      |      |      |
| 10  | 0,4                                | 0,2  | 0,3  | 0,8  | 0,4  |
| 50  | 2,6                                | 1,9  | 2,4  | 2,7  | 2,7  |
| 100   | 5,6                                | 3,3  | 7,1  | 8,2  | 4,9  |
| 200   | 11,6                               | 9,0  | 11,6 | 14,7 | 11,4 |
| 300   | 15,0                               | 15,5 | 15,4 | 22,3 | 19,3 |
| <b>3. Nach Frost-Tausalz-Beanspruchung</b>          |                                    |      |      |      |      |
| 10  | 0,6                                | 0,4  | 0,4  | 0,9  | 0,5  |
| 50  | 1,5                                | 1,4  | 2,7  | 2,5  | 2,2  |
| 100   | 4,1                                | 3,3  | 6,3  | 6,2  | 8,0  |
| 200   | 10,2                               | 9,1  | 10,5 | 10,9 | 14,0 |
| 300   | 15,0                               | 15,5 | 16,4 | 16,7 | 19,2 |

Es wird hieraus ersichtlich, daß vor allem bei einer Beanspruchung der Marshallprobekörper von 300 Umdrehungen in der Los-Angeles-Trommel, das gummimodifizierte Spezialbitumen die geringsten Abriebwerte aufweist.

Aus langjährigen Beobachtungen kann festgestellt werden, daß die Zahlenwerte des Kantabro-Tests ungefähr das Verhältnis der zu erwartenden Nutzungsdauer wiedergeben. Eine Mischung mit dem Kantabrowert 10 wird ca. doppelt so lange halten wie eine mit dem Kantabrowert 20 [15].

## **7.4 Umweltverträglichkeit bei Herstellung und Wiederverwertung von Flüster-Asphalt®**

Die folgenden drei Untersuchungsvarianten (Erhitzungsprüfung, Eluatuntersuchung und Bestimmung der Feststoffparameter) sollen aufzeigen, daß sowohl bei der Herstellung als auch bei der Wiederverwendung von Flüster-Asphalt® keine Umweltprobleme zu erwarten sind.

### **7.4.1 Erhitzungsprüfung**

Diese Untersuchung wird durchgeführt um festzustellen, ob es entweder bei der Erzeugung von Flüster-Asphalt® oder bei dessen anschließender Zugabe zur Herstellung von frischem Heißasphalt zu einer Dampfbildung mit umweltrelevanten Schadstoffanteilen kommt.

Für die Analyse wurden Marshallprobekörper angefertigt und nach Abkühlung zerkleinert. Dieses Basismaterial wurde auf 180 °C erhitzt und nach Extraktion mit organischen Lösungsmitteln auf Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Polychlorierte Biphenyle (PCB) untersucht. Zum Vergleich wurde das Basismaterial vor dem Erhitzen auf emittierte Anteile extrahiert und analysiert. Die PAK-Werte, die Summe aus sechs Einzel-PAK, lagen sowohl vor als auch nach dem Erhitzen bei 0,06 mg/kg TS (Trockensubstanz) und die PCB, hier wurden sechs Einzelkomponenten aufaddiert, waren < 0,05 mg/kg TS [27]. Die Ergebnisse zeigen, daß eine bedenkenlose Wiederverwendung von Flüster-Asphalt® in der Heißaufbereitung möglich ist. Wegen der geringen Konzentrationen kann davon ausgegangen werden, daß weder PCB noch PAK an die Umgebung abgegeben werden.

### **7.4.2 Eluat-Test**

Aus der Lagerung und späteren Wiederverwendung von zerkleinertem Flüster-Asphalt® in der Anlage zur Asphalttheißaufbereitung kann eine Beeinträchtigung der Umwelt, insbesondere des Grundwassers, hervorgehen. Um dies schon im Vorfeld festzustellen und jegliche Gefährdung ausschließen zu können, wird an einem Probekörper ein Eluat-Test durchgeführt. Für diesen Spezialfall ergab sich ein pH-Wert von 9,47 und ein Phenolindex

von > 0,01 mg/l. Der PAK-Wert betrug 0,0004 mg/l und der Anteil an Kohlenwasserstoffen befand sich im Bereich von 0,24 mg/l [27].

### 7.4.3 Untersuchung auf organische Substanzen

Anhand einer Untersuchung des Instituts für Materialprüfung IFM wurden Feststoffproben zur Beurteilung von CTS-Spezialbitumen auf PAK, Phenole, extrahierbare organische Halogene (EOX) und aromatische Lösungsmittel (BTEX) hin untersucht. In Tabelle 7.5 sind die Ergebnisse dargestellt [28].

**Tabelle 7.5: Bestimmung der Feststoffparameter**

| Parameter                         | Ergebnis [mg/kg] |
|-----------------------------------|------------------|
| PAK gesamt / Benzoapyren BaP      | 35,10 / <0,50    |
| Phenole, als Phenolindex bestimmt | 252              |
| EOX                               | < 4              |
| BTEX gesamt                       | 6,91             |
| Im einzelnen: Benzol              | 1,00             |
| Toluol                            | 0,85             |
| Ethylbenzol                       | 0,16             |
| Xylol                             | 4,90             |

Der PAK-Wert ist mit den entsprechenden Werten von Straßenbau- bzw. polymermodifiziertem Bitumen vergleichbar. Bei einem BaP-Gehalt im Bindemittel unter 50 mg/kg kann laut technischen Regeln für Gefahrenstoffe TRGS 551 davon ausgegangen werden, daß eine Wiederverwendung einer ausgebauten Straßendecke als Granulat zur Herstellung von Asphalt in Heißmischanlagen möglich ist .

„Der Phenolindex ist eine Kennzahl, die den Gehalt von Verbindungen charakterisiert, die eine für Phenol typische Reaktion eingehen und dabei Farbstoffe bilden, deren Spektrum mehr oder minder stark zum Phenolindex beitragen. Kalibriert ist der Index über die Stammverbindung „Phenol“ und trägt damit die Einheit mg/l bzw. mg/kg. Phenol und seine zahlreichen substituierten Verwandten können direkt gaschromatografisch bestimmt werden, wobei wegen der Vielzahl der möglichen Verbindungen mit Phenolcharakter eine Auswahl der zu bestimmenden Einzelverbindungen vorgenommen wird. Dieser Umstand führt dazu, daß die Summe der einzelnen Verbindungen in der Regel nicht mit dem Phenolindex übereinstimmt“ [28].

Der photometrisch ermittelte Wert für den Phenolindex von 252 mg/kg ist relativ hoch. Die Summe der im Gaschromatograph bestimmten Einzelverbindungen liegt unter 59,3 mg/kg. Die Differenz von etwas unter 200 mg/kg entfällt auf die zahlreichen weiteren Phenolverbindungen, welche jedoch alle unter der Nachweisgrenze der Einzelverbindungen liegen.

Unbedenklich sind die sehr geringen Werte für EOX und BTEX.

Dieser Untersuchung zufolge ist während der Verarbeitung des Bindemittels keine Schadstoffabgabe zu befürchten, da die die Umwelt beeinträchtigenden organischen Substanzen in sehr geringen Mengen vorliegen.

## 7.5 Erfahrungen anderer Staaten mit Gummibitumen und Drainasphalt

Seit 1986 werden in Deutschland offenporige lärmindernde Asphaltsschichten mit gummimodifiziertem Bitumen in einem Umfang von ca. 3 Millionen m<sup>2</sup> erprobt. Auch in anderen Ländern wie Österreich, Frankreich, Belgien, den Niederlanden und den USA können langjährige Erfahrungen mit gummimodifiziertem Bitumen und Drainasphalt verzeichnet werden. Im Folgenden soll ein kurzer Überblick der Erfahrungen dieser Staaten mit dieser Form der Straßenabdeckung gegeben werden [18].

### Österreich

Die erste Überbauung einer bestehenden, sechs Jahre alten Betondecke auf der Tiroler Inntalautobahn A 12 erfolgt 1984. Es wurde eine Fläche von 32.000 m<sup>2</sup> lärmindernder Drainasphalt zwischen Kufstein und Innsbruck, bei Angath, aufgebracht.

Bis 1987 wurden in Österreich 1.555.487 m<sup>2</sup> lärmindernder Drainasphalt auf Autobahnen mit Beton- oder Asphaltunterlage hergestellt, wobei für 1.007.550 m<sup>2</sup> Flüster-Asphalt® verwendet wurde.

Deutliche Verbesserungen konnten im Bereich der Verkehrssicherheit und der Reduktion des Verkehrslärms verzeichnet werden. Über Nachteile wurde jedoch beim Winterdienst auf diesen Drainasphaltstrecken berichtet. Eine erhöhte Salzstreuung war im Bereich von Großbrücken sowie bei Stützmauern, Hochborden und Fahrbahnverwindungen mit geringem Längsgefälle zu vermerken.

### Frankreich

Von 1984 bis Anfang 1993 wurden in Frankreich 3,9 Millionen m<sup>2</sup> Drainasphalt verlegt. Auf den ältesten Fahrbahnen sind weder Spurrillen, Kornausbrüche noch Rauigkeitsverluste zu

erkennen. Die Drainagefähigkeit wurde jedoch innerhalb eines Zeitraums von neun Jahren vermindert, da sich der ursprüngliche Hohlraumanteil auf 13 % verringerte.

Als Vorteil sieht Frankreich die Verbesserung der Verkehrssicherheit und die Lärmreduktion. Nachteilig wird, wie schon bei Österreich erwähnt, eine notwendige Anpassung des Winterdienstes und die mögliche verringerte Drainagefähigkeit gesehen.

### **Belgien**

Die Autobahn E 3 in der Nähe von Gent wurde als erste belgische Versuchsstrecke für einen Belag mit gummimodifiziertem Bindemittel herangezogen. Das Verhalten des Belages in bezug auf Verringerung der Rollgeräusche und der Sprühfahnenbildung sowie gute Hafteigenschaften bei hohen Geschwindigkeiten überzeugten das belgische Bautenministerium, weitere 1,5 Millionen m<sup>2</sup> Drainasphalt auf Autobahnen und Stadtgebieten aufzubringen. Die Lebensdauer dieser Strecken konnte mit zehn bis zwölf Jahren beziffert werden.

### **Niederlande**

In den Niederlanden wurden bis 1993 mehr als 10 Millionen m<sup>2</sup> Drainasphalt eingebaut. Diese Menge bezieht sich auf Autobahnen, wobei Fern- und Stadtstraßen nicht mit eingerechnet sind.

Positiv wird berichtet, daß bei regennasser Fahrbahn der Bremsweg verkürzt und somit die Verkehrssicherheit gehoben werden konnte. Bei Pkws wurde eine Fahrgeräuschreduktion von bis zu 3,5 dB (A) erzielt.

### **USA**

In den USA kann man auf eine mehr als 20-jährige Erfahrung auf dem Bereich von gummimodifiziertem Asphalt auf Stadt- und Überlandstraßen, Autobahnen und Flugplätzen zurückblicken. Probleme mit der Straßenerhaltung konnten im Laufe der Jahre reduziert und die Kosten konkurrenzfähig gehalten werden.

Wie schon erwähnt, ist im amerikanischen Highway Act die Verwendung von Gummigranulat zwingend vorgeschrieben. Dieses Granulat wird durch die Verarbeitung ganzer Altreifen oder von zerkleinertem Reifenmaterial gewonnen. Die verarbeiteten Teile müssen von Pkws, Lkws oder anderen Fahrzeugen stammen, welche in den Vereinigten Staaten in Besitz und Betrieb waren. Das Gesetz wurde verabschiedet, um die hohen Mengen an jährlich anfallenden Altreifen zu verringern und ihre stoffliche Verwertung zu fördern.

Untersuchungen auf Teststrecken in den USA haben gezeigt, daß Asphalte mit Gummibitumen verglichen mit herkömmlichen Asphaltbetondecken geringere Verformungen

aufweisen. Durch das geringere Oxidations- und Alterungsverhalten von Gummibitumen sind nach langen, schneereichen Wintern, trotz Beanspruchung der Fahrbahnen durch Ketten und Winterdienst, nur geringe Abriebe zu verzeichnen. Falls es zur Bildung von Rissen und Ausbrüchen kommen sollte, tritt eine Verschlechterung verzögert ein. Dies ist auf die Zähigkeit des Bindemittels zurückzuführen.

In der Stadt Phoenix, im amerikanischen Bundesstaat Arizona, werden jährlich 15 bis 25 Meilen mit SAM- oder SAMI-Schichten ausgeführt. Die Lebensdauer der eingebauten gummimodifizierten SAM-Schicht auf Fahrbahnen mit starker Rißbildung in Phoenix beträgt 10 bis 12 Jahre. Im Vergleich dazu weisen herkömmliche Absplittungen, welche auf extrem schlechten Straßenzuständen aufgebracht wurden, eine Haltbarkeit von ca. 1 bis 2 Jahren auf, und auf weniger schadhafte Fahrbahnen beträgt die Resistenz 6 bis 8 Jahre. Diese Lebensdauer bezieht sich vor allem auf das Auftreten von Reproduktionsrissen.

Eine Versuchsstrecke in der Nähe von Phoenix, wo an 86 % aller Tage im Jahr die Sonne scheint und an mehr als 100 Tage pro Jahr Temperaturen über 38 °C herrschen, zeigt nach 13 Jahren an der Straßenoberfläche noch immer eine dunklere, lebhaftere Farbe als die angrenzenden Beläge. Diese Optik weist auf eine lange Lebensdauer hin, womit zu zeigen ist, daß der mit gummimodifiziertem Bitumen hergestellte Asphalt auch noch nach 12 Jahren seine Leistungsfähigkeit nicht verloren hat.

### **Deutschland**

In Deutschland wurde, ausgeprägter als in anderen Ländern, die lärmindernde Wirkung und ihre dauerhafte Erhaltung erforscht. Die lärmindernden Drainasphalte werden durch gezielte Auswahl von kubischem Gestein und optimaler Siebliniengestaltung mit einem Hohlraumgehalt von ca. 24 Vol.-% hergestellt. Dadurch bleibt die Drainagefähigkeit und somit die Lärminderung über lange Zeit erhalten.

Durch die Verwendung von gummimodifiziertem Bitumen kommt es auch nach mehreren Jahren zu keinen Splittablösungen, was eine bessere Erhaltung der lärmindernden Eigenschaften bedeutet. Messungen nach 5 Jahren Liegezeit zeigen, daß gummimodifizierte Drainasphalte noch ca. 5 bis 6 dB (A) Lärmreduktion gegenüber Standardasphaltstrecken erreichen, polymermodifizierte Asphalte jedoch nur ca. 3 bis 4 dB (A).

Die neuesten, weiter optimierten gummimodifizierten, lärmindernden Asphalte haben im Neuzustand bis zu ca. 10 dB (A) Minderung erreicht, das sind ca. 2 bis 3 dB(A) mehr als bei vor 4 bis 5 Jahren gebauten. Es gibt berechtigte Hoffnungen, daß dieser Vorsprung auch über die Liegezeit erhalten bleibt und dauerhaft 6 dB (A) Lärminderung erreicht werden. Diese Abminderung ist gleichbedeutend einer Reduktion des Verkehrsaufkommens auf ein Viertel oder einer Erhöhung des Abstandes zur Lärmquelle um das 4-fache [15].





## 8 Auswirkung von Flüster-Asphalt® auf Verkehr und Anrainer

### 8.1 Lärminderung

Durch den permanenten Anstieg der Motorisierung erhöht sich auch der Verkehrslärm stetig, so daß diese Beeinflussung für den Menschen eine sehr große physische Belastung mit enormen gesundheitlichen Folgeschäden darstellt. Jeder dritte Einwohner fühlt sich durch Verkehrslärm belästigt.

Die von Kraftfahrzeugen verursachten Geräusche setzen sich aus dem Rollgeräusch und dem Antriebsgeräusch zusammen. Das Rollgeräusch wird sowohl durch den Reifen, als auch durch den Fahrbahnbelag bestimmt und steigt proportional zur Fahrgeschwindigkeit. Die Antriebsgeräusche sind unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit und leiten sich im wesentlichen von der Motordrehzahl ab. Sie werden von den Geräuschanteilen des Ansaugtaktes, der Auspuffanlage, des Motors und der Nebenaggregate verursacht. Bedingt durch die technische Auslegung des Fahrzeugs ergibt sich das Antriebsgeräusch. Die Höhe dieses Geräusches ist von der entsprechenden Fahrweise und der Verkehrssituation abhängig.

In der folgenden Abbildung 8.1 sind die Möglichkeiten zur Reduktion der Verkehrslärm-belästigung mit Hilfe von Lärmschutzfenstern, Lärmschutzwänden, Maßnahmen am Fahrzeug und Verwendung von Flüster-Asphalt® dargestellt.

Durch den Einbau von Lärmschutzfenstern kann eine Abminderung von bis zu 15 dB (A) bei geschlossenen Fenstern erreicht werden. Diese Nachrüstung ist überall machbar, jedoch entsprechend teuer. Mit Lärmschutzwänden wird eine Lärminderung von ca. 5 – 8 dB (A) erzielt. Diese Variante ist sehr kostenaufwendig und in Städten meist aufgrund der Ästhetik nicht durchsetzbar. Die dritte Möglichkeit ist die Einkapselung von Motoren und verbesserter Aerodynamik des Fahrzeuges selbst, was eine Reduktion von bis zu 10 dB (A) bewirken kann. Optimale Resultate können jedoch erst erzielt werden, wenn der Großteil aller älteren Fahrzeuge außer Dienst ist. Mit Flüster-Asphalt® kann der Verkehrslärm um etwa 3 – 8 dB (A) vermindert werden. Man erreicht eine deutliche Wirkung, da bei Geschwindigkeiten über 40 km/h eine Lärmreduktion deutlich wird.



### **Abbildung 8.1: Reduktionsmöglichkeiten der Verkehrslärmbelästigung**

Oft können mit der Errichtung von Lärmschutzwänden die Erwartungen der Anrainer nicht erfüllt werden. Eine deutliche Reduktion der Lärmbelästigung kann nur in unmittelbarer Nähe der Straße erreicht werden. Messungen haben ergeben, daß in den weiter entfernten Bereichen kaum eine Verbesserung der Situation eingetreten ist, da die Höhe des Grundgeräuschpegels und der Rollgeräusche für die Anrainer noch immer eine Belästigung darstellt. Zielführender ist eine direkte Bekämpfung des Verkehrslärms an der Quelle. Dies kann entweder durch eine Reduktion der Motor- und Rollgeräusche oder durch das Aufbringen von lärmindernden Fahrbahnbelägen erfolgen.

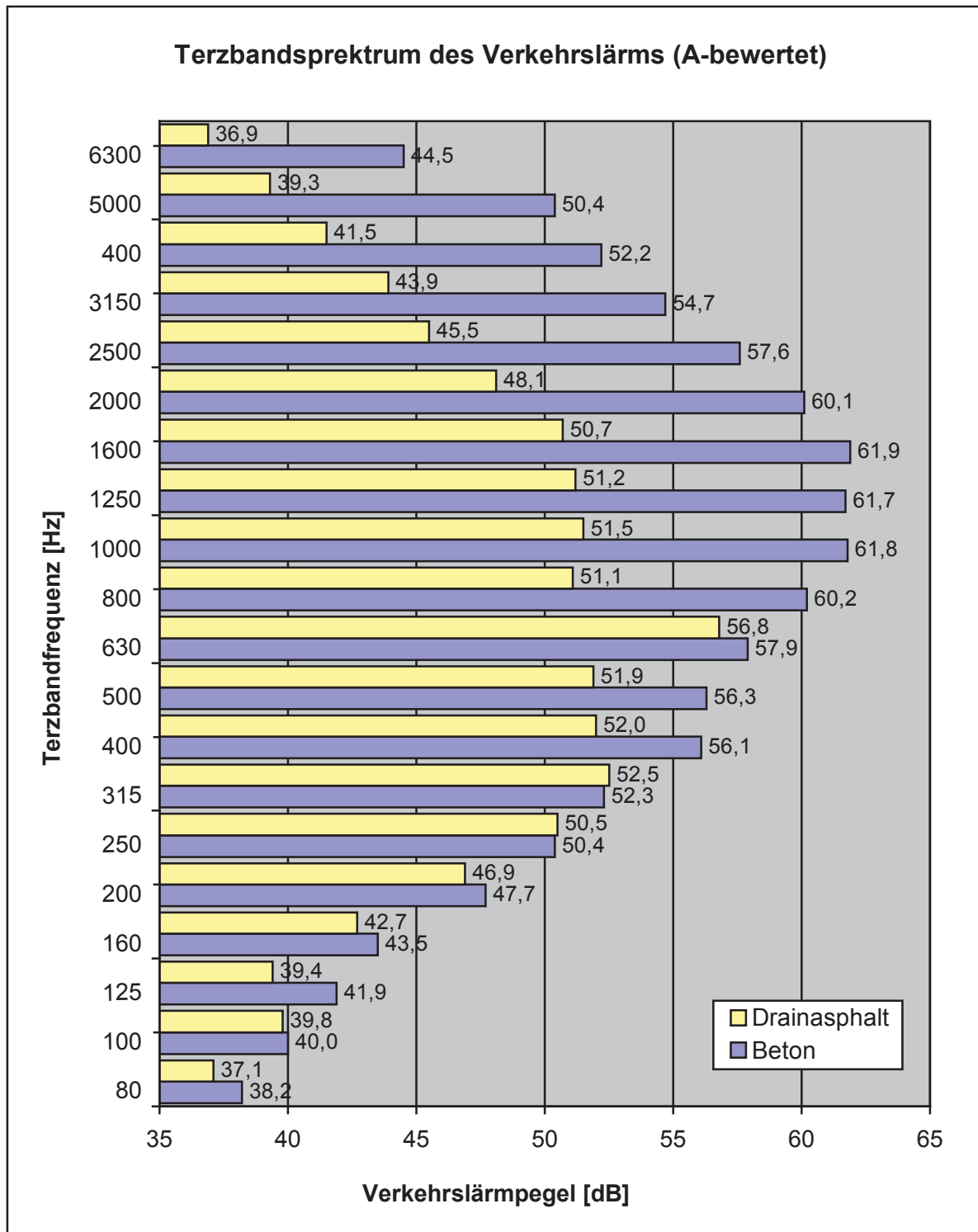
Anhand einer 1,5 km langen Versuchsstrecke auf der österreichischen Inntalautobahn bei Angath wurde die lärmindernde Wirkung von Flüster-Asphalt® getestet. Die Ergebnisse

der Untersuchungen mit Flüster-Asphalt® wurden jeweils mit einer Betondecke verglichen. Die Messungen ergaben, daß der energieäquivalente Dauerschallpegel bei trockener Fahrbahn tagsüber um 4,3 dB (A) und in der Nacht um 5,3 dB (A) gesenkt werden konnte. Die Tag-Nacht-Differenz von 1,0 dB (A) geht auf die unterschiedliche Zusammensetzung des Verkehrs zurück. Auf nasser Fahrbahn wurde eine Reduktion des energieäquivalenten Dauerschallpegels um 4,9 dB (A) gemessen. Durch den hohen Hohlraumgehalt des Flüster-Asphaltes® wird das Wasser bei Belastung in die Poren gedrängt. Dadurch entsteht kaum das, für das menschliche Ohr als unangenehm empfundene, zischende Geräusch, welches Fahrzeuge auf regennassem Untergrund erzeugen. Dies bedeutet, daß nasser Flüster-Asphalt® gleich laut klingt wie trockener.

Rollgeräuschuntersuchungen zeigten, daß der A-bewertete Schallpegel des verwendeten Test-Pkws auf Flüster-Asphalt® um 8,2 dB (A) niedriger war, als auf einer Betonfahrbahn. Beim Test-Lkw handelte es sich sogar um eine Differenz von 8,8 dB (A). Das Rollgeräusch der Betondecke ist aufgrund permanent hoher Frequenzanteile als störender und unangenehmer einzustufen als bei Flüster-Asphalt®.

Eine Bewertung des Frequenzspektrums der Lärmemission kann wesentlich aussagekräftigere Ergebnisse liefern als der gemessene Schalldruckpegel. Dies hängt mit der Tatsache zusammen, daß der Mensch hohe Frequenzen als weitaus störender empfindet als gleichlaute, tieffrequente Geräusche. Zwei Töne mit gleichem Schalldruckpegel aber unterschiedlicher Frequenz werden, rein subjektiv, nicht als gleich laut empfunden. Die Frequenzanalysen erfolgen in Form von Schmalband- oder Terzanalysen, da diese über ein höheres Auflösungsvermögen verfügen als Oktavbänder. Die entsprechenden Untersuchungen an der Versuchsstrecke ergaben einen Frequenzbereich von 800 – 10.000 Hz, welcher wesentlich niedriger als der einer Betondecke ist. Bei 4.000 Hz konnte der größte Pegelunterschied zwischen einer Fahrbahn aus Drainasphalt und Beton von rund 10 dB (A) festgestellt werden. Flüster-Asphalt® ist im mittleren bis hohen Frequenzbereich um 4 – 15 dB (A) leiser als eine Betonfahrbahn, was auf das Schallabsorptionsvermögen der matten, griffigen Oberfläche einerseits und auf die Ebenheit sowie Elastizität andererseits, zurückzuführen ist [29].

Abbildung 8.2 zeigt das Ergebnis zweier Meßstrecken, ausgebaut mit Flüster-Asphalt® und Beton. Aus diesem Diagramm geht hervor, daß vor allem eine Reduktion im höheren Frequenzbereich, wo die höchste Empfindlichkeit des menschlichen Ohrs vorliegt, erzielt wurde. Das bedeutet, daß zusätzlich zur Pegeländerung auch eine subjektive Verbesserung des Geräuschbildes für den Anrainer erreicht werden kann.



**Abbildung 8.2:** Terzbandspektrum des Verkehrslärms (A-bewertet)

Durch diese Versuchsstrecke konnte gezeigt werden, daß Flüster-Asphalt® eine Möglichkeit zur primären Verringerung des Verkehrslärms an der Quelle selbst darstellt. Es können somit bauliche Lärmschutzmaßnahmen ergänzt oder sogar ersetzt werden.

## 8.2 Winterdienst

Beläge aus Flüster-Asphalt®, im Vergleich zu konventionellen Beton- und Asphaltdecken, ermöglichen auch in den Wintermonaten ein sicheres Befahren der Straße. Die Fahrbahnen verfügen sowohl bei Rauhref als auch bei leichtem Schneematsch noch über eine ausreichende Griffigkeit. Von Seiten der zuständigen Straßenmeisterei ist es jedoch notwendig, die Temperaturen von Luft und Fahrbahnoberfläche ständig unter Beobachtung zu halten. Um einen Mehrverbrauch an Salz zu vermeiden, muß der richtige Zeitpunkt für eine sogenannte Präventivsalzung mittels EDV ermittelt werden.

Für diese vorsorgende Salzstreuung wird Salz mit ca. 30 % einer 20 %-igen Calciumchlorid-Sole beigemischt. Die Salzung erfolgt in nasser Form mit einer Menge von 10 – 20 g/m<sup>2</sup> auf die trockene Fahrbahnoberfläche bei Temperaturen bis zu -10 °C. Im Bereich von Großbrücken kann es infolge von auftretenden Unterkühlungen zu einem erhöhten Salzbedarf kommen, vor allem wenn die Entwässerung bei den Hochborden nicht ausreichend vorhanden ist. Bei herkömmlichem Asphalt wird die präventive Salzstreuung mit trockenem Salz durchgeführt. Auch ist aufgrund der geringeren Oberfläche einer Asphalt- oder Betondecke eine etwas verminderte Salzdosierung ausreichend.

Bei lärminderndem Belag wird ohne vorherige Salzstreuung das Porenwasser durch den Reifensog immer wieder an die Oberfläche befördert, was zu einer verlangsamten Trocknung des Belages führt. Dem ist jedoch eine geringere Sprühfahnenbildung bei salznasser Fahrbahn gegenüberzustellen, was den Fahrkomfort und die Verkehrssicherheit nachkommender Fahrzeuge erhöht. Bei extremer Kälte, Eisregen, Schneefall oder sonstigen winterlichen Fahrverhältnissen werden Drainasphalt und konventionelle Beläge mit Salzmengen von 20 – 40 g/m<sup>2</sup> in Form einer Naßaufbringung bestreut. Dies hat bei Drainbelägen sofort nach Eintreten schlechter Wetterverhältnisse zu erfolgen, da bei zu langen Wartezeiten eine erhöhte Menge an Salz nötig wäre. Auch muß in Bereichen mit zu geringer Querneigung oder Unebenheiten der Membran stärker gesalzen werden. Die Streuung muß homogen erfolgen, da sich an der Oberfläche keine Salzlacken bilden und das Streumittel dadurch nicht mit dem Verkehr verschleppt wird [30].

Die Schneeräumung erfolgt auf Flüster-Asphalt® problemlos, und mit einem gut organisierten Management des Winterdienstes kommt es auch zu keinem Mehrverbrauch an Streusalz, verglichen mit konventionellen Belägen.

## 8.3 Sicherheitsaspekte

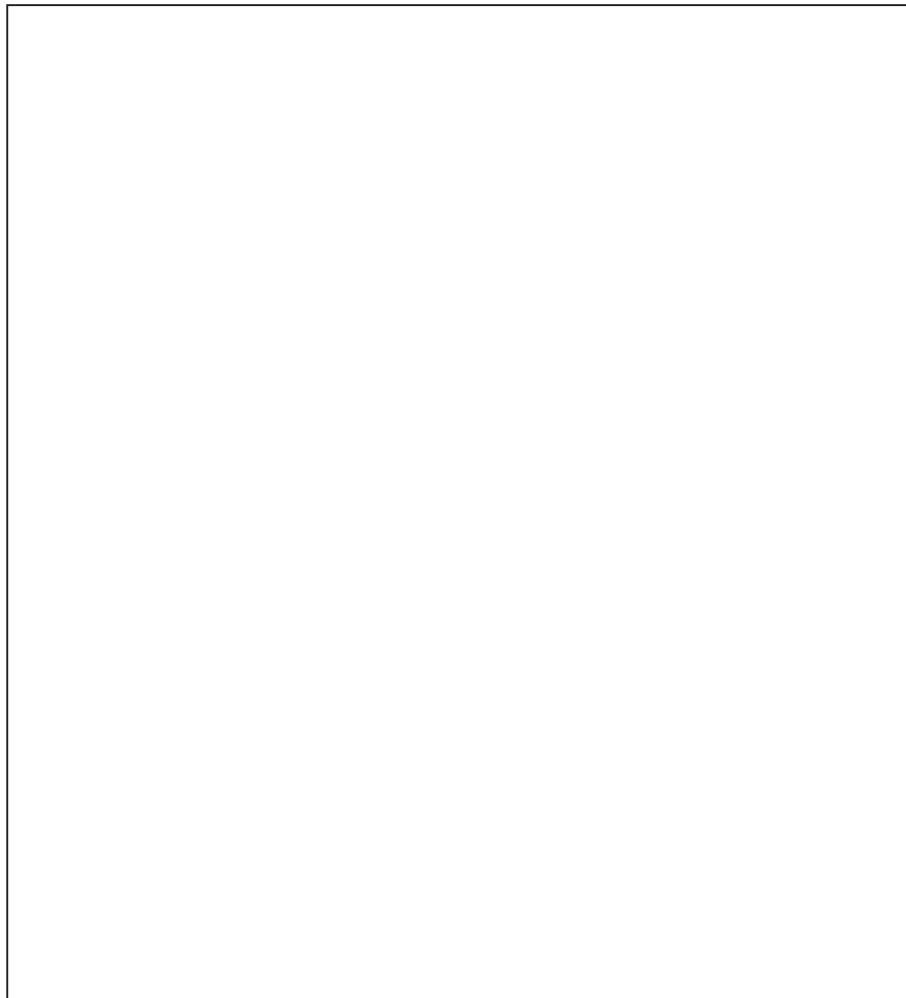
### Brandversuch

Beim Brandversuch wird ein kontrolliert aufgebrachtener Benzinfilm auf einer Drainasphaltstrecke entzündet. Aufgrund fehlender Sauerstoffzufuhr zum Benzin, welches in die

Hohlräume eingedrungen ist, kommt es zu kürzeren und weniger intensiven Bränden. Der Brandherd bleibt im Vergleich zu geschlossenen Deckschichten örtlich begrenzt. Bei Unfällen mit Feuerbildung kann dies zu einer merklichen Verringerung des Gesamtschadens führen und möglicherweise gravierende Personenschäden vermieden werden.

### Spurrinnenreduktion

Flüster-Asphalt® kann Belastungen und Spannungen deutlich besser aufnehmen und ableiten als zum Beispiel Betondecken. Zusätzlich ist durch das ausreichende Hohlraumsystem die Temperatur in den darunterliegenden Schichten um bis zu 15 °C geringer, was zu einer deutlichen Verringerung der Spurrinnenbildung führt (Abbildung 8.3). Verglichen mit den polymermodifizierten Straßenbelägen PmB-1 und PmB-2 kann mit Flüster-Asphalt® eine Reduktion der Verformung um 30 % (PmB-1) bzw. 20 % (PmB-2) erreicht werden. Die Meßbedingungen und Plattenhöhen waren für alle Prüfkörper vollkommen ident [19].



**Abbildung 8.3: Spurrinnenreduktion**

## 8.4 Wirtschaftlichkeit von gummimodifiziertem Bitumen

Anhand von 33 Drainasphaltstrecken in Deutschland wurde ein Vergleich zwischen gummimodifiziertem und polymermodifiziertem Bitumen durch Vergabe von Punkten von 0 – 2 gezogen. Die höchste Punkteanzahl wurde für einen sehr guten Zustand, die niedrigste für einen sehr schlechten Zustand vergeben. Bei den gummimodifizierten Strecken wurden 1,5 Punkte nach durchschnittlich 8,75 Jahren erreicht. Diese Anzahl wurde auf PmB-Strecken schon nach 4,75 Jahren erreicht. Diese 1,5 Punkte würden bedeuten, daß am Belag bereits erste Auflösungserscheinungen zu bemerken waren, und eine Erneuerung innerhalb kurzer Zeit unerlässlich sein wird.

Bei einer wirtschaftlichen Betrachtung von Flüster-Asphalt®, im Vergleich zu konventionellen Deckschichten, können die Mehrkosten den entsprechenden Einsparungen gegenübergestellt werden.

Mehrkosten bei der Verwendung von Drainasphalt können in Form von höheren Herstellkosten, Salzverbrauch und Erhaltungsaufwand auftreten. Einsparungen sind möglich durch die verbesserte Verkehrssicherheit, dem gesteigerten Fahrkomfort und der lärmreduzierenden Wirkung des Flüster-Asphaltes® verzeichnet werden.

Es ist unumstritten, daß die Herstellung von Flüster-Asphalt® gegenüber konventionellem Asphaltbeton einen Mehraufwand an Kosten bedeutet. Auch kann es zu einem erhöhten Salzverbrauch im Winterdienst von 10 – 30 % kommen, wenn die Präventivsalzung zu spät oder eventuell überhaupt nicht erfolgte. Um die positiven Eigenschaften des Drainasphaltes über lange Zeit zu gewährleisten, müssen dementsprechende Unterhaltsmaßnahmen gesetzt werden: die Randbereiche müssen entweder durchspült oder besser noch abgesaugt werden, die Entwässerungsrinnen müssen in periodischen Abständen gereinigt werden, der Belag muß abgekehrt werden, um eine Verstopfung der Hohlräume zu unterbinden, usw.

Hiermit müssen nun die Einsparungsmöglichkeiten dieser Fahrbahnausführung verglichen werden. Beginnend mit der erhöhten Verkehrssicherheit ist zu bemerken, daß aufgrund der drainagierenden Wirkung dieser Beläge dem Verkehrsteilnehmer bei Regen nahezu die gleiche Fahrbahnqualität wie bei Trockenheit zur Verfügung steht. Die volkswirtschaftlichen Kosten sind abhängig von der Unfallhäufigkeit und von der jeweils angesetzten Berechnungshöhe der Unfallfolgekosten.

Ein gesteigerter Fahrkomfort für den Verkehrsteilnehmer kann zwar nicht in Geldeinheiten ausgedrückt, trotzdem aber als zusätzlicher Pluspunkt betrachtet werden. Der geringere Rollwiderstand wirkt sich positiv auf den Benzinverbrauch der Fahrzeuge aus. Drainasphalt kann die Verminderung bzw. den Entfall zusätzlicher Lärmschutzmaßnahmen, wie Lärmschutzfenster und Höhenminderung von Lärmschutzbauten, bewirken.



Für die Wirtschaftlichkeit als positiv zu werten ist die längere Lebensdauer von Flüster-Asphalt®-Belägen, einerseits durch die Verwendung von hochwertigem Gummibitumen zur Umhüllung des Korngerüsts, und andererseits durch die Absiegelung der Tragschicht mit einer Membran (SAMI-Schicht). Dies führt zu verringerten Erhaltungskosten und einer Reduzierung der Verkehrsbehinderung durch Baustellen.

## 8.5 Bewertung von Flüster-Asphalt®

Im Folgenden werden Hauptunterscheidungspunkte von Flüster-Asphalt® im Vergleich zu herkömmlichen Asphalt mit Punkten von 1 bis 5 beurteilt. Die höchste zu vergebende Punkteanzahl ist 5.

**Tabelle 8.1: Punktebewertung von Flüster-Asphalt® zu herkömmlichem Asphalt**

| Bewertungsfaktor                       | Flüster-Asphalt® | Herkömmlicher Asphalt |
|--|------------------|-----------------------|
| Lärminderung                           | 5                | 2                     |
| Drainagefähigkeit                      | 5                | 1                     |
| Umweltverträglichkeit                  | 4                | 3                     |
| Überbauungsdicke                       | 3                | 3                     |
| Alterungsverhalten                     | 4                | 3                     |
| Spurrinnenbildung                      | 5                | 3                     |
| Wirtschaftlichkeit                     | 5                | 4                     |
| Einsparung anderer Lärmschutzmaßnahmen | 4                | 2                     |
| Reparaturaufwand                       | 2                | 5                     |
| Herstellungs- und Erhaltungskosten     | 2                | 3                     |
| Lebensdauer                            | 4                | 5                     |
| Winterdienst                           | 2                | 3                     |
| Ebenheit                               | 4                | 4                     |
| Griffigkeit                            | 4                | 3                     |
| Aquaplaning und Sprühfahnenbildung     | 5                | 2                     |
| <b>Summe</b>                           | <b>58</b>        | <b>46</b>             |

Der gummi-modifizierte Straßenbelag wurde mit 58 von 75 erreichbaren Punkten bewertet, der herkömmliche Asphalt erzielte 46 Punkte. Deutlich besser wurden bei Flüster-Asphalt® Faktoren wie Lärminderung, Drainagefähigkeit, Spurrinnenbildung, die Möglichkeit zur Einsparung an zusätzlichen Lärmschutzmaßnahmen sowie Aquaplaning und Sprühfahnenbildung beurteilt. Beim Vergleich des Reparaturaufwandes erzielte der Flüster-Asphalt® um 3 Punkte weniger als der konventionelle Asphalt. Alle weiteren Betrachtungsfaktoren hielten sich mit 0 bzw.  $\pm 1$  Punkt die Waage. In Summe wurde Flüster-Asphalt® mit 16 % besser beurteilt als herkömmlicher Straßenbelag.

Abschließend ist nochmals hervorzuheben, daß für die Herstellung von gummi-modifiziertem Bitumen für den Asphaltstraßenbau Altreifen recycelt werden und somit ein positiver Beitrag zur stofflichen Verwertung im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz geleistet wird.





## 9 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit mit dem Titel „Wertstoff Altreifen – Aufbereitung und Einsatz zur qualitativen Verbesserung des Asphaltstraßenbaus“ zeigt die Möglichkeit auf, wie die Eigenschaften von Fahrbahnbelägen mit Hilfe von gemahlene Altreifen verbessert werden können.

Die Grundlage des Verwertungs- und Entsorgungsmarktes für Altreifen bildet das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, kurz KrW-/AbfG, in dem die stoffliche und thermische Verwertung gleichwertig angesetzt sind. Als oberste Prämisse gilt: „Vermeidung vor Verwertung vor Entsorgung“.

1997 sind in Deutschland 653.000 Mg Altreifen angefallen. Diese wurden entweder wiederverwendet, verwertet oder entsorgt. Ein Teil des Reifenaufkommens wird runderneuert oder im In- bzw. Ausland wieder- und weiterverwendet. Eine stoffliche Verwertung kann z.B. durch das Recycling von Altreifen zu Gummimehl und Granulat erfolgen. Für thermische Verwertung ist eine Verbrennung in Kraftwerken oder in der Zementindustrie möglich. Im Rahmen einer Entsorgung können Altreifen auf einer Deponie abgelagert werden.

Im Rahmen einer stofflichen Verwertung von Altreifen kann mit Hilfe eines Kaltmahlverfahrens, der sogenannten kryogenen Vermahlung, oder eines Warmmahlverfahrens Gummigranulat und Gummimehl aus Altreifen gewonnen werden. Dieses Gummimehl kann zur qualitativen Verbesserung im Asphaltstraßenbau eingesetzt werden.

Vor rund 30 Jahren wurden in den USA die ersten Versuchsstrecken mit Asphaltbelägen errichtet, deren Eigenschaften durch die Beigabe von Gummimehl gezielt verbessert werden sollten. Als Ergebnis dieser verbesserten Drainasphaltbauweise waren einerseits die Erhöhung der Verkehrssicherheit in Bezug auf Sprühhfahnenreduktion sowie Griffigkeit bei trockener und nasser Fahrbahn und andererseits eine deutliche Lärmreduktion sowie eine verbesserte Drainagefähigkeit zu verzeichnen. Seit Anfang der 80-iger Jahre wird dieser lärmindernde Drainasphalt, der sogenannte Flüster-Asphalt®, auch auf deutschen Straßen aufgebracht.

Das System Flüster-Asphalt® besteht aus einer Membran und einer Deckschicht aus Drainasphalt. Für die Herstellung von Flüster-Asphalt® ist die gezielte Auswahl von kubischem Gestein mit optimaler Siebliniengestaltung von großer Bedeutung, um einen gewünschten Hohlraumgehalt von ca. 24 Vol.-% zu erreichen.

Bei Flüster-Asphalt® wird der Asphaltmischung 5 – 7 M.-% Gummibitumen beigemischt. Gummibitumen ist ein elastomermodifiziertes Bindemittel aus Bitumen von ausgesuchter Qualität, Gummimehl aus Altreifen und einem schwer flüchtigen, aromatischen Öl. Das modifizierte Bitumen ist notwendig, um die einzelnen Mineralstoffkörner so miteinander zu verkitten, daß der Belag einer mechanischer Belastung und starkem Wasserangriff standhält.

Das gummimodifizierte Bitumen wird vor dem Einsatz auf verschiedenste Eigenschaften hin überprüft, wie z.B. Splithaltevermögen, Erweichungspunkt Ring und Kugel, Bruchdehnung, Penetration, Brechpunkt nach Fraass, usw.

Auf eine vorhandene Asphalt- oder Betonfahrbahn wird zuerst eine Membran, die sogenannte SAMI-Schicht aufgebracht. Sie dient der Absorption der Spannungen und soll die Fortpflanzung von bestehenden Rissen in die Deckschicht verhindert. Zusätzlich verhindert die SAMI-Schicht ein Eindringen von Flüssigkeiten in die darunter liegenden Schichten und leitet diese in vertikaler Richtung zu den Entwässerungsrinnen, welche in die Membranschicht mit eingebaut sind, ab. Die Einbaumenge für diese Zwischenschicht beträgt 2 - 3,5 kg/m<sup>2</sup> bei einer Temperatur von ca. 200 °C. Die Membran wird mit vorumhülltem Edelsplitt der Korngröße 5/8 oder 8/12 abgesplittet und nach dem Aushärten abgekehrt.

In der Chargenmischanlage wird der Drinasphalt aus mindestens 85 Gew.-% Splitt, maximal 10 Gew.-% Sand und maximal 5 Gew.-% Füller hergestellt. Zusätzlich werden 5 bis 7 Gew.-% Bitumen beigemischt. Es ist darauf zu achten, daß das Bindemittel von Drinasphalt und Membran ident ist. Mit einer Schichtdicke von 4 bis 5 cm wird der Drinasphalt auf die abgesplittete Membran aufgetragen und mit einer Glattmantelwalze ohne Vibrations verdichtet.

Mit einer Fahrbahn aus Flüster-Asphalt® kann der Verkehrslärm an der Quelle selbst gesenkt werden. Messungen an einer Versuchsstrecke mit Flüster-Asphalt® auf der Inn-talautobahn bei Angath ergaben, daß der energieäquivalente Dauerschallpegel je nach Verkehrssituation und Wetterverhältnisse, verglichen mit einer herkömmlichen Betondecke, um 4,3 – 5,3 dB (A) reduziert werden konnte. Auch vergleichende Rollgeräuschuntersuchungen konnten eine Verringerung des A-bewerteten Schallpegels nachweisen. Im mittleren bis hohen Frequenzbereich ist Flüster-Asphalt® um 4 - 15 dB (A) leiser als eine Betonfahrbahn. Die lärmreduzierende Wirkung wird durch das Schallabsorptionsvermögen der hohlraumreichen Deckschicht, die Ebenheit und die Elastizität verstärkt.

Beim Winterdienst ist darauf zu achten, daß die nötige Präventivsalzung rechtzeitig vorgenommen wird, da ein diesbezügliches Versäumen einen erhöhten Salzverbrauch von 10 bis 30 % mit sich ziehen würde. Eine Schneeräumung kann problemlos wie bei herkömmlichen Straßenbelägen erfolgen.

Belastungen und Spannungen können von Belägen mit Flüster-Asphalt® deutlich besser aufgenommen werden als von Betondecken. Aufgrund des ausreichenden Hohlraumgehaltes ist die Temperatur in den darunterliegenden Schichten geringer, was dazu führt, daß sich deutlich weniger Spurrinnen bilden. Verglichen mit Straßenbelägen mit polymermodifiziertem Bitumen weist Flüster-Asphalt® eine Spurrinnenreduktion von bis zu 30 % auf. Auch kommt es zu einer verbesserten drainagierenden Wirkung der Oberfläche, da Flüssigkeiten durch das Hohlraumsystem sofort vertikal bis zur Membran abgeleitet werden und so die Gefahr von Sprühhahnenbildung und Aquaplaning vermindert ist.

Die Kosten sind im Bereich der Herstellung und der Erhaltung höher als bei konventionellen Straßenbelägen. Angesichts der erhöhten Verkehrssicherheit in bezug auf eine Verringerung von Aquaplaning, Spurrinnen- und Sprühhahnenbildung sowie der lärmreduzierenden Wirkung und dem gesteigerten Fahrkomfort können volkswirtschaftlich enorme Kosten eingespart werden. Als positiv ist auch die längere Lebensdauer dieser Beläge zu bewerten, was zu verringerten Baustellenzeiten führt.

Bei dieser Variante der stofflichen Verwertung von Altreifen kann einerseits eine qualitativ hochwertige Fahrbahnoberfläche hergestellt werden und andererseits ein wertvoller Beitrag für die Abfallwirtschaft in Deutschland geleistet werden.

## 10 Verzeichnisse

### 10.1 Literatur

- [1] ENTSORGUNG UND VERWERTUNGSMANAGEMENT EVM: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG). In: Internet [www.deponie.de](http://www.deponie.de), April 2000.
- [2] LÖWENHAUPT, B. R.: Altreifen-Heizkraftwerke erzeugen Energie. In: Zeitschrift Der Altreifen-Atlas, hrsg. von Gummibereifung und Bundesverband Reifenhandel & Vulkaniseur-Handwerk e. V., Bielefeld: Bielefelder Verlagsanstalt GmbH & Co. KG, 1997.
- [3] FEHRENBACH, H.; GIEGRICH, J.; ORLIK, W.: Fallbeispiel: Verwertung von Altreifen. In: Ergebnisbericht zum Forschungsvorhaben „Ökologische Bilanzen in der Abfallwirtschaft“, hrsg. von Ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg, März 1997.
- [4] UMWELTBUNDESAMT: Mengen, Verwertung und Entsorgung von Altreifen in der Bundesrepublik Deutschland. In: Umweltforschungsplan, hrsg. von Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungsbericht 103 03 220/01, UBA-FB 89-149.
- [5] GRANZER, G.: Altreifenverwertung Case Studies – techno-ökonomische Lösungsansätze in Österreich, der BRD und in den USA. Diplomarbeit, Wirtschaftsuniversität Wien, Wien 1995.
- [6] WIRTSCHAFTSVERBAND DER DEUTSCHEN KAUSCHUKINDUSTRIE E.V.: Altreifenentsorgung in Deutschland 1997. Zugesandt von Helmut Hirsch, GAVS, Stand 03/99, September 1999.
- [7] HIRSCH, H.: GAVS trägt zur deutlichen Kapazitätsausweitung bei. In: Zeitschrift Der Altreifen-Atlas, hrsg. von Gummibereifung und Bundesverband Reifenhandel & Vulkaniseur-Handwerk e. V., Bielefeld: Bielefelder Verlagsanstalt GmbH & Co. KG, 1997.
- [8] FACHINFORMATIONSZENTRUM KARLSRUHE – GESELLSCHAFT FÜR WISSENSCHAFTLICHE-TECHNISCHE INFORMATION MBH: Runderneuerte Autoreifen. In: Internet [www.bine.fiz-karlsruhe.de](http://www.bine.fiz-karlsruhe.de), Juli 1999.



- [9] SCHMIDT, U.; KREIPE, E.: Möglichkeiten zur thermischen Verwertung von Altgummi. Vortrag zur „dkt '94“ – Deutsche Kautschuk-Tagung 1994, Mai 1994.
- [10] KUMAR, S.; MAURER P.: Altreifenrecycling im Asphaltstraßenbau. Seminararbeit im Rahmen der Vorlesung Stoffkreisläufe, Montanuniversität Leoben, Leoben 1997.
- [11] BUNDESVERBAND REIFENHANDEL UND VULKANISEUR-HANDWERK E.V.: Reifenfachhandel profitiert von exzellenter Automobilkonjunktur und gestiegenem Sicherheitsbewußtsein – Stückzahlen im deutschen Reifenersatzgeschäft auf Rekordniveau. In: Internet [www.bundesverband-reifenhandel.de](http://www.bundesverband-reifenhandel.de), Köln, Juli 1999.
- [12] REIFEN-ENTSORGUNGSGESELLSCHAFT REG: Marktrecherche zum Altreifenrecycling. In: Internet [www.tire.de](http://www.tire.de), Juli 1999.
- [13] CASPERS-MERK: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Caspers-Merk u.a. und der Fraktion der SPD – vom 26.04.1995 „Entsorgung von Atltreifen“ – Drs. 13/1210. In: Gesammelte Produktbeschreibungen der Firma CTS Bitumen GmbH, hrsg. von Otto Vogel, Buch am Erlbach 1985
- [14] WEYRINGER, H.: Drainasphalt – Ein innovatives Produkt des Asphaltstraßenbaues – Ein Bericht über Erfahrungen mit Drainasphalt aus der Sicht einer österreichischen Straßenbausondergesellschaft. In: Zeitschrift Straße und Autobahn, Heft 11, 1991.
- [15] VOGEL, O.: Persönliche Mitteilung. August 1999 bis März 2000.
- [16] STEHNO, G.; STICKLER, H.; ERTL, J.: Lärmpegelsenkung durch Flüsterasphalt. In: Bundesministerium für Bauten und Technik – Straßenforschung, hrsg. von der Republik Österreich, Bundesministerium für Bauten und Technik, Bundesstraßenverwaltung, Heft 282, Wien 1986. ISSN 0379-1491.
- [17] NAKKEL, E.: Gesteigerte Lärminderung – gesteigerte Sicherheit. Berichte und Referate beim Straßenkongress, II. Teil – Internationale Erfahrungen mit Drainasphalt, Graz, März 1998.
- [18] INGENIEURGESELLSCHAFT MBH FÜR BAUTECHNISCHE PRÜFUNGEN BERATENDE INGENIEURE IFB: Auszug aus der Literaturrecherche zum Thema: Erfahrungen mit der Anwendung von Gummibitumen. Institut Dr.-Ing. Gauer, Regenstauf, Mai 1999.
- [19] CTS BITUMEN GMBH: Das gummimodifizierte CTS-Spezialbitumen. In: Gesammelte Produktbeschreibungen der Firma CTS Bitumen GmbH, hrsg. von Otto Vogel, Buch am Erlbach.

- [20] BACHMAYER, F.: Erdöl und Erdgas in Österreich. In: Veröffentlichungen aus dem Naturhistorischen Museum in Wien, Neue Folge 19, Wien 1980. ISBN 3 85028 071 3.
- [21] DEUTSCHE BP AKTIENGESELLSCHAFT HAMBURG: Das Buch vom Erdöl. 4. Aufl., Hamburg: Reuter & Klöckner Verlagsbuchhandlung, Hamburg 1978. ISBN 3-921174-03-1.
- [22] POTSCHKA, V.: Die Wahl des Bitumens als entscheidende Einflußgröße für die Qualität von lärmindernden Drainsphalten. Berichte und Referate beim Straßenkongress, III. Teil – Asphalttechnologie und Lärmtechnische Untersuchungen von lärmindernden Drainbelägen, Graz, März 1998.
- [23] CTS BITUMEN GMBH: Rißversiegelung in Straßenoberflächen mit Hilfe einer die Spannung aufnehmenden Membran. In: Gesammelte Produktbeschreibungen der Firma CTS Bitumen GmbH, hrsg. von Otto Vogel, Buch am Erlbach.
- [24] DEUTSCHER ASPHALTVERBAND DAV: Stand der Technik bei Umweltschutzmaßnahmen an Asphaltmischanlagen in Europa – Techniken, Vorschriften und Grenzwerte im europäischen Vergleich. Deutsche Übersetzung des Umweltleitfadens des Europäischen Asphaltverbandes EAPA: „Environmental Guidelines on Best Available Techniques (BAT) for the production of asphalt mixes“, Bonn 1994. ISBN 90-801214-5-2.
- [25] CTS BITUMEN GMBH: Gesetzliche und technische Rahmenbedingungen für den Einsatz von gummimodifiziertem Bitumen im Straßenbau der USA – Stand: Sommer 1992. In: Gesammelte Produktbeschreibungen der Firma CTS Bitumen GmbH, hrsg. von Otto Vogel, Buch am Erlbach 1992.
- [26] INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ANALYTIK MBH IFTA: Vergleichende Untersuchung an offenporigem Asphalt (OPA) mit unterschiedlichen Bindemitteln. In: Gesammelte Produktbeschreibungen der Firma CTS Bitumen GmbH, hrsg. von Otto Vogel, Buch am Erlbach, 07.07.1998. IFTA-Projekt-Nr.: 980549.
- [27] INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ANALYTIK MBH IFTA: Umweltverträglichkeit bei der Herstellung und Wiederverwendung von Flüsterasphalt mit Esso-Spezialbitumen. In: Gesammelte Produktbeschreibungen der Firma CTS Bitumen GmbH, hrsg. von Otto Vogel, Buch am Erlbach, 30.10.1989. IFTA-Projekt-Nr.: 890918.

- [28] INSTITUT FÜR MATERIALPRÜFUNG IFM: Beurteilung der Umweltverträglichkeit. In: Gesammelte Produktbeschreibungen der Firma CTS Bitumen GmbH, hrsg. von Otto Vogel, Buch am Erlbach, 12.07.94. Prüfbericht-Nr. 4S0103.
- [29] STEHNO, G.: Lärmmessungen an Drainasphalten. Berichte und Referate beim Straßenkongress, III. Teil – Asphalttechnologie und Lärmtechnische Untersuchungen von lärmindernden Drainbelägen, Graz, März 1998.
- [30] WEYRINGER, H.: Winterdienst auf lärmindernden Drainasphalt. In: Gesammelte Produktbeschreibungen der Firma CTS Bitumen GmbH, hrsg. von Otto Vogel, Buch am Erlbach, März 1990.

## 10.2 Verwendete Abkürzungen/Begriffe

|                 |  |
|-----------------|--|
| %               | Prozent  |
| §               | Paragraph  |
| °C              | Grad Celsius   |
| a               | Jahr   |
| Abs.            | Absatz   |
| BRV             | Bundesverband Reifenhandel und Vulkaniseur-Handwerk e.V. |
| BTEX            | Aromatische Lösungsmittel                                |
| C               | Kohlenstoff  |
| ca.             | zirka  |
| CH <sub>4</sub> | Methan   |
| cm              | Zentimeter   |
| cm <sup>3</sup> | Kubikzentimeter  |
| CO              | Kohlenmonoxid  |
| d.h.            | das heißt  |
| dB (A)          | Dezibel (A-bewertet)                                     |
| EOX             | Extrahierbare organische Halogene                        |
| FHWA            | Bundesautobahnverwaltung der USA                         |
| ft              | Foot (zu deutsch Fuß); amerikanische Längeneinheit       |
| g               | Gramm  |
| GAVS            | Gesellschaft für Altgummiverwertungssysteme              |
| Gew.-%          | Gewichtsprozent  |

|                  |  |
|------------------|--|
| H <sub>2</sub>   | Wasserstoff                                  |
| H <sub>2</sub> O | Wasser                                       |
| HB               | hochviskoses Bitumen                         |
| HVB              | Hochvakuumbitumen                            |
| Hz               | Herz   |
| kg               | Kilogramm                                    |
| kJ               | Kilojoule                                    |
| KrW-/AbfG        | Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz       |
| l                | Liter  |
| Lkw              | Lastkraftwagen                               |
| Llkw             | Leichtlastkraftwagen                         |
| M.-%             | Massenprozent                                |
| m <sup>2</sup>   | Quadratmeter                                 |
| Mg               | Megagramm                                    |
| Min.             | Minute                                       |
| mm               | Millimeter                                   |
| mm <sup>2</sup>  | Quadratmillimeter                            |
| MPa              | Megapascal                                   |
| Nr.              | Nummer                                       |
| OPA              | Offenporiger Asphalt                         |
| PAK              | Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe |
| PCB              | Polychlorierte Biphenyle                     |

|        |   |
|--------|---|
| pfC    | pervious friction course                            |
| Pkw    | Personenkraftwagen                                  |
| PmB    | Polymermodifiziertes Bitumen                        |
| pwc    | pervious wearing course                             |
| RTFOT  | Rolling Thin Film Oven Test                         |
| RuK    | Ring und Kugel                                      |
| s      | Sekunde   |
| SAM    | Stress absorbing membran                            |
| SAMI   | Stress absorbing membran interlayer                 |
| SMA    | Splittmastixasphalt                                 |
| TRGS   | Technischen Regeln für Gefahrenstoffe               |
| TS     | Trockensubstanz                                     |
| TÜV    | Technischer Überprüfungsverein                      |
| USA    | United States of America                            |
| v.a.   | vor allem   |
| vgl.   | vergleiche  |
| Vol.-% | Volumsprozent                                       |
| W.d.K  | Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie |
| z.B.   | zum Beispiel  |

### 10.3 Tabellen

|               |   |    |
|---------------|---|----|
| Tabelle 3.1:  | Stoffliche Zusammensetzung von Reifen.....  | 13 |
| Tabelle 3.2:  | Reifenlaufleistung auf der Basis von Erfahrungswerten .....   | 14 |
| Tabelle 3.3:  | Abgesetzte Menge an Neu- und runderneuterten Reifen in Deutschland<br>(Angabe in Millionen Stück) ..... | 17 |
| Tabelle 3.4:  | Altreifenaufkommen in Deutschland 1997 [Mg] .....   | 18 |
| Tabelle 3.5:  | Altreifenlogistik .....   | 20 |
| Tabelle 3.6:  | Export deutscher Altreifen nach Ländern .....   | 28 |
| Tabelle 5.1:  | Qualitätssicherung von gummimodifiziertem Bindemittel.....  | 49 |
| Tabelle 5.2:  | Eigenschaften von typischen Rohölen aus der Verarbeitung der Raffinerie<br>Schwechat, Österreich .....  | 51 |
| Tabelle 5.3:  | Erwünschte Bitumeneigenschaften .....   | 56 |
| Tabelle 5.4:  | Einfluß des eingesetzten Bitumens .....   | 57 |
| Tabelle 5.5:  | Anforderungen an die Korngrößenverteilung bei Gummipulver .....   | 58 |
| Tabelle 5.6:  | Differenzierte Eigenschaften dreier Bitumen.....  | 63 |
| Tabelle 5.7:  | Eigenschaften von Gummibitumen .....  | 64 |
| Tabelle 5.8:  | Löslichkeit von Gummipartikel im Spezialbitumen .....   | 69 |
| Tabelle 5.9:  | Diverse Eigenschaften von Spezialbitumen bei Heißlagerung .....   | 70 |
| Tabelle 5.10: | Heißlagerung Gummibitumenmischung A .....   | 71 |
| Tabelle 5.11: | Heißlagerung Gummibitumenmischung B .....   | 71 |
| Tabelle 5.12: | Heißlagerung Gummibitumenmischung C .....   | 72 |
| Tabelle 6.1:  | Qualitätsstudie: gummimodifiziertes Bindemittel für SAMI.....   | 76 |
| Tabelle 6.2:  | Membranstreifen und Gesamtflächenmembran .....  | 77 |
| Tabelle 7.1:  | Tragfähigkeitsäquivalenzen .....  | 83 |
| Tabelle 7.2:  | Äquivalenzen zur Rißüberbrückung .....  | 84 |

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Tabelle 7.3: | Hohlraum- und Bindemittelgehalt der Untersuchungsobjekte .....         | 89  |
| Tabelle 7.4: | Kantabro-Test an fünf Drainspalten mit verschiedenen Bindemitteln .... | 90  |
| Tabelle 7.5: | Bestimmung der Feststoffparameter .....                                | 92  |
| Tabelle 8.1: | Punktebewertung von Flüster-Asphalt® zu herkömmlichem Asphalt ....     | 103 |





## 10.4 Abbildungen

|                |  |    |
|----------------|--|----|
| Abbildung 3.1: | Abfallmenge in Deutschland 1996 .....  | 11 |
| Abbildung 3.2: | Verkaufsmenge an Neureifen 1998 .....  | 15 |
| Abbildung 3.3: | Anfallende Altreifenmenge pro Jahr in Deutschland .....  | 19 |
| Abbildung 3.4: | Verwertungswege 1997 in Prozent .....  | 21 |
| Abbildung 3.5: | Mengenmäßiger Verbleib 1997 .....  | 22 |
| Abbildung 3.6: | Fließschema des Kaltmahlverfahrens .....   | 25 |
| Abbildung 4.1: | Wasseraufnahmefähigkeit von konventionellem Straßenbelag .....                                   | 34 |
| Abbildung 4.2: | Wasserhaltevermögen von Flüster-Asphalt® .....   | 34 |
| Abbildung 4.3: | Aufbau von Flüster-Asphalt® .....  | 36 |
| Abbildung 4.4: | Arizona-Dreischichtensystem.....   | 40 |
| Abbildung 4.5: | Zusammenhang zwischen thermischen horizontalen Dehnspannungen<br>und der Deckschichtstärke ..... | 41 |
| Abbildung 4.6: | Zusammenhang zwischen der Scherspannungen und der Deck-<br>schichtstärke .....                   | 43 |
| Abbildung 4.7: | SAM-Schicht .....  | 45 |
| Abbildung 4.8: | SAMI-Schicht .....   | 45 |
| Abbildung 5.1: | Rohöl-Destillation .....   | 50 |
| Abbildung 5.2: | Viskosität diverser Bitumen in Abhängigkeit von der Temperatur.....                              | 61 |
| Abbildung 5.3: | Viskositätskurve .....   | 62 |
| Abbildung 5.4: | Vialit-Test (Schlagfestkeitsversuch) .....   | 65 |
| Abbildung 5.5: | Bruchdehnung in Abhängigkeit von der Temperatur.....   | 66 |
| Abbildung 5.6: | Minderung der Elastizität.....   | 67 |
| Abbildung 6.1: | Chargenmischanlage .....   | 78 |
| Abbildung 7.1: | Aufbringen der Membran mit dem Auftragsgerät .....   | 86 |

|                |   |     |
|----------------|---|-----|
| Abbildung 7.2: | Absplitten der Membran mittels Splittstreuer .....        | 86  |
| Abbildung 7.3: | Teilweise abgesplittete Membran.....                      | 87  |
| Abbildung 7.4: | Auftragen von Drainasphalt mit Fertigern .....            | 87  |
| Abbildung 7.5: | Verdichtung von Drainasphalt mit Glattmantelwalzen.....   | 88  |
| Abbildung 7.6: | Fertiggestellte Fahrbahn mit Flüster-Asphalt® .....       | 88  |
| Abbildung 8.1: | Reduktionsmöglichkeiten der Verkehrslärmbelästigung ..... | 97  |
| Abbildung 8.2: | Terzbandspektrum des Verkehrslärms (A-bewertet).....      | 99  |
| Abbildung 8.3: | Spurrinnenreduktion.....                                  | 101 |

