



DIPLOMARBEIT

Asphaltbetonoberflächendichtungen bei Staudämmen – Dauerhaftigkeit und
Langzeitverhalten von Asphaltbeton im Wasserbau

unter der Leitung von

(Betreuer/-in)

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.Peter Tschernutter
E222
Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

(Verfasser/-in)

Mathias Smesnik BSc
0826573
Fuchsthallergasse 8 Tür 5
1090 Wien

Wien, am 03.04.2014

.....
(Mathias Smesnik)

1 Vorwort

Die vorliegende Diplomarbeit wurde am Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie an der TU Wien Arbeitsbereich Wasserbau verfasst und stellt den Abschluss meines Studiums Bauingenieurswesen und Infrastrukturmanagement dar.

Mein Dank gilt an dieser Stelle all jenen die mich in den letzten Jahren unterstützt und gefördert haben. Im Speziellen möchte ich meiner Familie danken, ohne die mein Studium an der TU Wien nicht möglich gewesen wäre. Des weiteren danke ich meiner Freundin Hanna für ihre Geduld und Unterstützung bei der Entstehung dieser Arbeit.

Besonderer Dank gilt Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Tschernutter für die Möglichkeit und ausgezeichnete Unterstützung im Entstehungsprozess dieser Arbeit.

2 Kurzfassung

Um die Dauerhaftigkeit und das Langzeitverhalten von Asphaltbetonoberflächendichtungen beurteilen zu können, muss ein fundiertes Wissen über die Alterungsprozesse des Asphaltbetons und seiner Bestandteile vorliegen. Ziel dieser Arbeit ist es, die maßgeblichen Alterungsprozesse aus der Vielzahl der Einflüsse herauszufiltern und diese nach deren schädigenden Einwirkung zu klassifizieren. Aus der künstlichen Alterung von Asphaltbeton und seiner Bestandteile im Labor werden die angestellten Überlegungen mit Hilfe von Interpretationen der Messdaten belegt und anschaulich dargestellt. Die Auseinandersetzung der historischen Entwicklung von Oberflächendichtungen und den damit in Verbindung zum Einsatz kommenden Materialien und Maschinen stellt ebenso einen wichtigen Teil dieser Arbeit dar. Ziel ist es, eine Aussage darüber zu treffen, welche Parameter für die Alterung und damit für die Beeinflussung der Dauerhaftigkeit dieser Dichtungslösungen maßgeblich verantwortlich sind.

3 Abstract

In order to assess the durability and long term behavior of asphalt facings, it is essential to have an elementary knowledge of the aging processes of asphalt concrete and its components. The aim of this work is to determine relevant aging processes and classify them according to their damaging effects. Considerations based on artificial aging of asphalt concrete and its components in the laboratory are supported by the interpretation of performance data and displayed graphically. The historical development of surface seals and hence used materials and machines is also a substantial part of this work. The principal aim is to determine responsible parameters for aging processes that thus influence the durability of these sealing solutions.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Vorwort..... | 2 |
| 2 | Kurzfassung..... | 2 |
| 3 | Abstract..... | 2 |
| 4 | Allgemeines..... | 10 |
| 4.1 | Vorteile von Asphaltbetonoberflächendichtungen..... | 11 |
| 4.2 | Einwirkungen auf Asphaltbetonoberflächendichtungen..... | 11 |
| 4.2.1 | Mechanische Einflüsse..... | 11 |
| 4.2.2 | Klimatische Einwirkungen..... | 13 |
| 4.2.3 | Chemische Einwirkungen..... | 14 |
| 4.2.4 | Biologische Einwirkungen..... | 14 |
| 4.3 | Anforderungen an Asphaltbetonoberflächendichtungen..... | 14 |
| 4.3.1 | Wasserundurchlässigkeit..... | 14 |
| 4.3.2 | Standfestigkeit und Scherfestigkeit..... | 15 |
| 4.3.3 | Genauigkeit und Ebenflächigkeit..... | 15 |
| 4.3.4 | Dauerhaftigkeit..... | 16 |
| 4.3.5 | Verformbarkeit..... | 16 |
| 4.3.6 | Frostsicherheit und Witterungsbeständigkeit..... | 16 |
| 4.3.7 | Alterungsbeständigkeit..... | 16 |
| 5 | Herstellung der Asphaltbetonoberflächendichtung..... | 17 |
| 5.1 | Allgemeines..... | 17 |
| 5.1.1 | Unterbau..... | 18 |
| 5.1.2 | Bitumenemulsion..... | 18 |
| 5.1.3 | Binderschicht..... | 18 |
| 5.1.4 | Dichtungsschicht..... | 18 |
| 5.1.5 | Oberflächenversiegelung..... | 19 |
| 5.2 | Schichtdicken..... | 19 |
| 5.2.1 | Bituminöse Tragschicht..... | 19 |
| 5.2.2 | Dichtschichte..... | 20 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.2.3 | Schichtdicken für Wasserhöhen bis zirka 20 m | 22 |
| 5.2.4 | Schichtdicken für Wasserhöhen über 20 m..... | 23 |
| 5.3 | Herstellungsverfahren von Asphaltbetonoberflächendichtungen..... | 24 |
| 5.3.1 | Normal | 24 |
| 5.3.2 | Sandwich | 24 |
| 5.3.3 | Semi-Sandwich | 24 |
| 5.4 | Herstellung | 25 |
| 5.4.1 | Anlieferung von Bitumen und Mineralstoffen..... | 25 |
| 5.4.2 | Mischanlagen und Mischanlagenüberwachung..... | 25 |
| 5.4.3 | Transport und Einbau von Asphaltbeton..... | 29 |
| 5.4.4 | Verteilen und Verdichten | 29 |
| 5.4.5 | Einbausysteme an Böschungen..... | 30 |
| 5.4.6 | Einbausysteme an der Sohle | 31 |
| 5.4.7 | Einbaugeräte..... | 31 |
| 6 | Asphaltbeton für Dichtungen im Wasserbau | 32 |
| 6.1 | Asphaltbeton..... | 32 |
| 6.1.1 | Wichtigste Eigenschaften von Asphaltbeton:..... | 32 |
| 6.1.2 | Standfestigkeit auf Böschungen | 32 |
| 6.1.3 | Wasserundurchlässigkeit | 33 |
| 6.1.4 | Standfestigkeit auf geneigten Flächen | 34 |
| 6.1.5 | Überprüfung der Flexibilität | 34 |
| 6.1.6 | Alterungsbeständigkeit von Asphaltbeton | 35 |
| 6.2 | Asphaltemastix - Oberflächenversiegelung..... | 36 |
| 7 | Bestandteile von Asphaltbeton | 37 |
| 7.1 | Bitumen | 37 |
| 7.1.1 | Bitumengewinnung..... | 39 |
| 7.1.2 | Bitumenarten | 39 |
| 7.1.3 | Alterung des Bitumens..... | 43 |
| 7.1.4 | Bitumeneigenschaften..... | 45 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 7.1.5 | Anforderungen an Bitumen im Wasserbau..... | 52 |
| 7.2 | Polymermodifiziertes Bitumen..... | 54 |
| 7.2.1 | Einteilung von PmB..... | 55 |
| 7.2.2 | Verarbeitbarkeit..... | 56 |
| 7.2.3 | Anforderungen an PmB im Wasserbau..... | 56 |
| 7.3 | Mineralstoffe..... | 57 |
| 7.3.1 | Gesteinskörnungen..... | 57 |
| 7.3.2 | Kies (Splitt, Naturkies)..... | 58 |
| 7.3.3 | Sand..... | 58 |
| 7.3.4 | Füller..... | 59 |
| 7.4 | Additive..... | 60 |
| 8 | Zusammensetzung von Asphaltbeton für den Wasserbau..... | 61 |
| 8.1 | Verschiedene Richtlinien für die Zusammensetzung..... | 61 |
| 8.2 | Vergleich von Normkörnungen und Praxis..... | 62 |
| 9 | Prüfungen und Prüfverfahren..... | 63 |
| 9.1 | Eignungsprüfungen..... | 63 |
| 9.2 | Eigenüberwachungsprüfungen..... | 63 |
| 9.2.1 | Baustellenlabor..... | 64 |
| 9.3 | Kontrollprüfung..... | 64 |
| 10 | Bitumenprüfungen im Labor..... | 65 |
| 10.1.1 | Prüfverfahren für Heißbitumen in Österreich..... | 65 |
| 10.1.2 | Prüfverfahren für Polymermodifiziertes Bitumen (PmB)..... | 70 |
| 10.1.3 | Simulation der Alterung im Labor..... | 73 |
| 10.1.4 | Veränderungen von Bitumen infolge der Laboralterung..... | 75 |
| 11 | Erfahrung mit dem Einsatz von Asphaltbetonoberflächendichtungen..... | 76 |
| 11.1 | Allgemein..... | 76 |
| 11.2 | Speicherbecken mit Asphaltüberflächendichtungen von 1950 bis 2010.... | 76 |
| 12 | Überprüfung und Überwachungsmethoden der Dichtschicht..... | 78 |

| | |
|--|------------|
| 12.1 Visuelle Kontrolle | 78 |
| 12.1.1 Risse | 78 |
| 12.1.2 Fugen | 79 |
| 12.1.3 Nähte | 79 |
| 12.1.4 Zerrbereiche | 79 |
| 12.1.5 Blasen und Beulen | 79 |
| 12.1.6 Pusteln | 79 |
| 12.1.7 Raue Oberflächen, tiefe Poren | 79 |
| 12.1.8 Bindemittelaustritte (Elefantenhaut) | 79 |
| 12.1.9 Materialabtrag | 79 |
| 12.1.10 Pflanzenbewuchs | 80 |
| 12.2 Zerstörungsfreie Prüfungen am Bauwerk | 81 |
| 12.2.1 Asphaltstärke und Raumdichte | 81 |
| 12.2.2 Wasserdurchlässigkeitsprüfung | 81 |
| 12.2.3 Georadar | 81 |
| 12.2.4 Thermokamera | 81 |
| 12.3 Überprüfung an Bohrkernen und Aushackstücken | 81 |
| 13 Überprüfung und Beurteilung des bestehender Untergrunds | 83 |
| 13.1 Schadensformen und Sanierungsmöglichkeiten nach [1] | 83 |
| 13.1.1 Lokale kleinräumige Untergrundsetzung | 83 |
| 13.1.2 Großflächige Untergrundsetzung | 84 |
| 14 Sanierungsmöglichkeiten von Asphaltbetonoberflächendichtungen .. | 84 |
| 14.1 Anforderungen an Sanierungen | 85 |
| 14.1.1 Kleinflächige Schäden und Sanierungsmöglichkeiten [1] | 85 |
| 14.1.2 Großflächige Sanierungen und Generalsanierungen | 98 |
| 15 Vergleich von Dämmen und Speichern | 99 |
| 15.1 Schlussfolgerung zur Dauerhaftigkeit | 100 |
| 15.2 Übersicht und Daten zu den ausgewählten Speichern | 101 |
| 16 Zusammenfassung | 107 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 16.1 Schlussfolgerung | 108 |
| 17 Literaturverzeichnis | 109 |
| 18 Anhang..... | 112 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Aufbau Asphaltbetonoberflächendichtung (Rückblick ausgeführte Projekte) [2] | 17 |
| Abbildung 2: Varianten Dichtungsaufbau [23] | 24 |
| Abbildung 3: Schema einer Mischanlage zur Herstellung von Asphaltbeton..... | 26 |
| Abbildung 4: Vakuumglocke für Dichtheitskontrolle am Bauwerk [5] | 33 |
| Abbildung 5: Prüfkörper Versuch Standfestigkeit [3] | 34 |
| Abbildung 6: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Flexibilität [5]..... | 35 |
| Abbildung 7: Schematische Darstellung Bitumenherstellung [22] | 39 |
| Abbildung 8: Schematischer Verlauf Bitumenalterung | 44 |
| Abbildung 9: Kriechverhalten eines viskoelastischen Stoffes (Bitumen) | 45 |
| Abbildung 10: Relaxation eines viskoelastischen Stoffes..... | 46 |
| Abbildung 11: Versuchsaufbau Nadelpenetration [13] | 66 |
| Abbildung 12: Versuchsaufbau Ring und Kugel [13] | 67 |
| Abbildung 13: Brechpunkt nach Fraaß [13] | 68 |
| Abbildung 14: BBR - Prüfkörper (Bitumenbalken) [24] | 69 |
| Abbildung 15: Versuchsaufbau Elastische Rückstellung [13] | 71 |
| Abbildung 16: Anzahl der Dichtungslagen 1950 bis 1980..... | 77 |
| Abbildung 17: Anzahl der Dichtungslagen 1980 bis 2010..... | 77 |
| Abbildung 18: Wurzelwuchs unter Dichtung [5]..... | 80 |
| Abbildung 19: Einsenkmulde auf Feinausgleichsschicht aus [1] | 83 |
| Abbildung 20: Großflächige Untergrundsetzung aus [1] | 84 |
| Abbildung 21: Dammkronenriss in Falllinie, Sanierung nach a. [1] | 85 |
| Abbildung 22: Riss entlang Dammkrone zwischen Dichtasphalt der Böschung und Kronenausrundung [1]..... | 86 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 23: Riss entlang einer Einbaufuge (heiß auf heiß) einer einlagigen Dichtung [1] | 87 |
| Abbildung 24: Riss in einer Bahnnaht (zweilagige Dichtung nach 40 Betriebsjahren) [1] | 88 |
| Abbildung 25: Riss entlang Herdmaueranschluss [1] | 89 |
| Abbildung 26: Anschlussfuge mit Bitumenverguss, sanieren Kittfuge mit dauerelastischem Kitt [1]..... | 90 |
| Abbildung 27: Walzrisse [1] | 91 |
| Abbildung 28: Pusteln (nach 40 Betriebsjahren), Verteilung von Pusteln [1] | 92 |
| Abbildung 29: Blasen [1] | 93 |
| Abbildung 30: Mastixschaden (Elefantenhaut) [1] | 94 |
| Abbildung 31: Riefe durch Stein [1]..... | 95 |
| Abbildung 32: Geringe Affinität zwischen Zuschlagsstoffen und Bitumen [1]..... | 96 |
| Abbildung 33: Mangelhafte Anschlussfuge (Naht durch stehengebliebene Walze) [1]..... | 97 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Böschungsneigungen bei Asphaltbetonoberflächendichtungen aus [1]..... | 10 |
| Tabelle 2: Richtwerte für Mindestdicken (Dichtschicht) bis 20 m Wasserhöhe [1]..... | 22 |
| Tabelle 3: Richtwerte für die Beurteilung des verdichteten Untergrundes (Erdbauplanum) aus [1] | 22 |
| Tabelle 4: Richttemperatur an Mischanlage [1 S. 44] | 27 |
| Tabelle 5: Temperaturbereiche für Transport und Einbau [1 S. 45]..... | 30 |
| Tabelle 6: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Ausgewählte Terminologie..... | 38 |
| Tabelle 7: Bitumensorten Neubau/Sanierung..... | 41 |
| Tabelle 8: Reale Alterungsbelastungen während der Liegezeit von Asphaltbetonaufbauten [10]..... | 43 |
| Tabelle 9: Anforderungen an Erdölbitumen für den Wasserbau aus [1]..... | 53 |
| Tabelle 10: Bezeichnung von PmB [15 S. 96] | 55 |
| Tabelle 11: Anforderungen an polymermodifiziertes Bitumen für den Wasserbau aus [1].. | 56 |
| Tabelle 12: Körnungen Asphaltwasserbau | 58 |
| Tabelle 13: Zusammensetzungen von Asphaltbeton..... | 61 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 14: Auflistung von Dämmen und Speicherbecken mit Asphaltbetonoberflächendichtungen | 99 |
| Tabelle 15: Wagspeicher | 101 |
| Tabelle 16: Dießbach | 102 |
| Tabelle 17: Haselstein | 103 |
| Tabelle 18: Tianhuanping | 104 |
| Tabelle 19: Zirmsee | 105 |
| Tabelle 20: Goldisthal | 106 |
| Tabelle 21: Goldisthal | 106 |

Diagramme

| | |
|--|----|
| Diagramm 1: Dichtschichtdicke w in Abhängigkeit der Wasserhöhe | 21 |
| Diagramm 2: Temperaturverlauf bei Probenahme Asphaltichtung | 28 |
| Diagramm 3: Temperaturverlauf bei Probenahme Asphaltbinder | 28 |
| Diagramm 4: Im Wasserbau häufig verwendete Bitumensorten | 40 |
| Diagramm 5: Kriechkurven B50/70 rein und B 50/70 1:1 [14] | 48 |
| Diagramm 6: Steifigkeitsverlauf B50/70 rein und B50/70 1:1 [14] | 49 |
| Diagramm 7: Steifigkeit ausgewählter Bindemittel nach 60 s aus BBR* - Versuch | 50 |
| Diagramm 8: Verarbeitungstemperaturen von Bitumen im Wasserbau | 52 |
| Diagramm 9: Grenzwerte EAAW 0/16 | 62 |
| Diagramm 10: Grenzwerte Shell HB 0/16 | 62 |
| Diagramm 11: Elastische Rückstellung 70/100 vs. PmB 45/80 – 65 [8] | 71 |
| Diagramm 12: Tendenzielle Veränderung der Eigenschaften von PmB infolge Laboralterung [8] | 75 |
| Diagramm 13: Dichtschichtstärken von Oberflächendichtungen bei Dämmen zwischen 1980 und 2010 | 77 |
| Diagramm 14: Speicher und Dämme nach Höhenlage und Baujahr | 99 |

4 Allgemeines

Die Asphaltbetonoberflächendichtung kommt meist dann zum Einsatz, wenn keine oder nicht in ausreichendem Maß geeignete Baustoffe in der Nähe der Baustelle vorhanden sind um diverse andere Dichtungsvariante auszuführen bei denen der Stützkörper unter Auftrieb stehen würde. Ein weiterer Grund und Vorteil dieser Bauweise stellt die sehr kurze Bauzeit beziehungsweise geringe Verflechtung der einzelnen Arbeitsschritte dar. Durch das Entfallen des Auftriebes kann das Volumen des Stützkörpers geringer ausfallen und somit sinken die mengenbezogenen Materialkosten. Die wasserseitige Böschungsneigung bei Dämmen über 20 m sollte höchstens 1:1,5 betragen, da ansonsten der Einbau der Oberflächendichtung nur unter sehr erschwerten Bedingungen erfolgen kann. Die Oberflächendichtungen haben den großen Nachteil, dass die Dichtungen direkt allen äußeren Einwirkungen ausgesetzt sind. Der größte Vorteil ist die einfache Zugänglichkeit der Dichtung im Falle von Wartungs-, Kontroll- und Reparaturarbeiten. Als abschließender Punkt sollte noch die vereinfachte Möglichkeit der Dammerhöhung angesprochen werden. Der hauptsächliche Einsatzbereich von Asphaltbetonoberflächendichtungen liegt bei kleinen und mittleren Dämmen mit einer Höhe von bis zu 100 Metern. Diese Dichtungsvariante kann beschränkte Verformungen des Unterbaues mitmachen und ist daher in einem gewissen Maß setzungsunempfindlich. Eine Asphaltbetonoberflächendichtung unterliegt während der Herstellung beziehungsweise der Betriebszeit einer Vielzahl von schädlichen Einflüssen. Man unterteilt die Einwirkungen und Beanspruchungen in mechanische, klimatische, chemische und biologische Einflüsse. Auch ist zu berücksichtigen, dass die Einwirkungen und Beanspruchungen sehr stark von der geografischen Lage, Exposition sowie der Ausführungsart abhängen.

Tabelle 1: Böschungsneigungen bei Asphaltbetonoberflächendichtungen aus [1]

| Böschungsneigung unter 20 m | Böschungsneigung über 20 m |
|-----------------------------|----------------------------|
| $\leq 1 : 2^*)$ | $1 : 1,5^*)$ |

*) Für die Güte des Dichtungseinbaues ist auch die Neigung der Böschung maßgebend; sie soll daher im Allgemeinen nicht steiler als 1:1,6 sein

4.1 Vorteile von Asphaltbetonoberflächendichtungen

1. Geringes Dammvolumen: Der gesamte Dammkörper befindet sich im Trockenen, daher wirkt auch kein Auftrieb und somit verringert sich das Dammvolumen welches für die benötigte Gewichtskomponente nötig ist. Durch den geringeren Materialeinsatz sinken die Kosten.
2. Wirtschaftlichkeit des Dammmaterials: An das Material werden geringere Anforderungen gestellt, da dieses nicht in ständigem Kontakt mit dem Wasser steht (Kostenreduktion). Hierzu sollte aber auch die Dammkrone gegen Wasserzutritt geschützt werden.
3. Dichtungskontrolle: Die Wasserundurchlässigkeit der Dichtung kann über den Wasserspiegel kontrolliert werden. Es kann ein Sandwichaufbau der Dichtung zur Ausführung kommen, hierbei befindet sich eine Drainageschicht zwischen zwei dichten Lagen, somit kann die eindringende Wassermenge genau erfasst werden (siehe Abbildung 2).
4. Kontrolle von undichten Stellen nach der Höhenlage: Es sollte in der Planung eine etagenweise Abführung der Drainagewassermengen vorgesehen werden, wodurch Leckstellen leichter nach der Höhe lokalisiert werden können.
5. Reparaturen: Da sich die Dichtung an der Oberfläche befindet sind eventuelle Schadstellen leichter zugänglich. Für Reparaturen muss der Wasserspiegel nicht vollkommen abgesenkt werden, es genügt diesen bis unter die betroffene Stelle zu senken und anschließend die Reparatur durchzuführen. Dies ist sehr wirtschaftlich da die Speichernutzung im Teilbetrieb bleiben kann.
6. Hervorragende Eignung für Becken/ Dämme wie zum Beispiel Ausgleichsbecken bei denen sich der Wasserspiegelstand schnell beziehungsweise oft ändert. Durch diese Dichtungsvariante wird der Aufbau eines Porenwasserüberdruckes in einem schädlichen Maß verhindert.

4.2 Einwirkungen auf Asphaltbetonoberflächendichtungen

Die Oberflächendichtung bildet die oberste Schicht des Dammkörpers, diese ist einer Vielzahl von Einflüssen ausgesetzt.

4.2.1 Mechanische Einflüsse

Bei den mechanischen Einwirkungen muss zwischen statischen (ständige Lasten) und dynamischen beziehungsweise hydrodynamischen (veränderliche Lasten) Einwirkungen unterschieden werden. Zu den statischen Belastungen zählen Eigengewicht, Wasserdruck und Auftrieb. In diversen Fällen können auch noch andere Auflasten aus unter-

schiedlichen Gründen dazu kommen. Zu den dynamischen und hydrodynamischen Belastungen, welche meistens kurzzeitig auftreten, zählen wechselnde Wasserspiegellagen, Sogwirkungen, Wellenschlag, Windstau, Schiffswellen oder Schiffstoß, Schwall und Sunk, Stöße durch Treibgut, Abrieb und Erosion sowie Eisstoß und Porenwasserdruck im Dammkörper.

Für die Ermittlung der statischen sowie der dynamischen Einwirkungen ist immer der ungünstigste Lastfall zu berücksichtigen, welcher in der Planungsphase ermittelt werden muss. Die beschriebenen Einwirkungen und Belastungen müssen über die Dichtung an die darunter liegenden Dammschichten weiter geleitet werden.

4.2.1.1 Eigengewicht:

Für die Ermittlung der Wichte ist es vernünftig das Raumbgewicht in Abhängigkeit der verwendeten Gesteinskörnungen heranzuziehen. Nachfolgend sind Anhaltswerte für die Wichten angeführt.

| | |
|------------------|-----------------------------|
| Dichtungsschicht | 22 bis 25 KN/m ³ |
| Binderschicht | 22 bis 24 KN/m ³ |
| Tragschicht | 21 bis 24 KN/m ³ |
| Vergussmasse | 19 bis 21 KN/m ³ |

4.2.1.2 Wasserdruck und Porenwasserdruck:

Für den Wasserdruck ist der hydrostatische Wasserdruck im ungünstigsten Fall anzusetzen, welcher durch Berechnungen oder Modellversuche ermittelt wird. Eine weitere Problematik stellt der so genannte Porenwasserdruck dar, welcher aufgrund der geringen Asphalttschichtdicke und dem damit verbunden geringen Gewicht zum Abheben der Dichtungsschicht führen kann. Um diesem Problem entgegenzuwirken sind entsprechende Drainagesysteme vorzusehen. Falls der Gefahr des Abhebens mit Hilfe von Entwässerungen der darunter liegenden Schichten nicht Abhilfe geleistet werden kann, sind diverse andere Varianten wie zum Beispiel Auflasten auf der Dichtung in Erwägung zu ziehen.

4.2.1.3 Wellenschlag, Schiffs oder Stoßwellen:

Bei Dammanlagen, bei denen Schiffsverkehr vorgesehen ist, muss auf diese Problematik Rücksicht genommen werden.

4.2.1.4 Schwall und Sunk:

Schwall beschreibt eine hohe Wasserführung und Sunk beschreibt eine niedrige Wasserführung.

4.2.1.5 Abrieb und Erosion:

Die Anfälligkeit von Asphaltoberflächendichtungen im Hinblick auf den Abrieb und die Erosion ist sehr stark vom Aufbau des Dichtmaterial abhängig, insbesondere von der Wahl der Gesteinskörnung, des Bindemittels und der Schichtdicke. Eine sehr wichtige Rolle spielt auch die Dauer der erodierenden Einwirkung. Falls der Angriff auf die Dichtung über einen längeren Zeitraum erfolgt, müssen besonders bei den Anschlüssen beziehungsweise Übergängen der Asphalt-schichten die Fugen, entsprechend ausgelegt werden. Im Großen und Ganzen ist der Widerstand gegen Abrieb und Erosion von Asphaltoberflächendichtungen nicht markant schlechter als der von Beton.

4.2.1.6 Eisstoß:

Das Eis, welches sich an der Wasseroberfläche bei gegebenen Bedingungen bildet, kann eine Gefährdung der Oberflächendichtung darstellen. Es gibt im Prinzip zwei Szenarien. Einerseits der Eisstaudruck und andererseits das Abgleiten von Eisschollen an der Asphaltoberfläche. Eisstaudruck baut sich auf, wenn sich an der Wasseroberfläche Eisschollen oder auch einzelne Eisblöcke übereinander schieben und durch den Staudruck, welcher vom Wasser oder Winddruck verursacht wird, eine Kraft das Eis gegen den Damm drückt. Das Abgleiten stellt insofern eine Gefährdung für die Oberfläche dar, da in den Eisblöcken Steine enthalten sein können, welche beim Abrutschen, was ein langsamer Vorgang ist, tiefe Furchen in der Dichtung hinterlassen können. Beide Varianten sind in der Planungsphase zu berücksichtigen.

4.2.2 Klimatische Einwirkungen

Unter die Bezeichnung klimatische Einwirkungen fallen Beanspruchungen infolge von schwankenden Luft- und Wassertemperaturen, Frost und UV-Strahlung.

Die meisten klimatischen Belastungen treten nur bei Wasserspiegellagen auf, die nicht dem Stauziel entsprechen. Auch spielen Sonderfälle wie der Bauzustand oder Reparaturarbeiten eine Rolle. Der Einfluss der Lufttemperatur reicht nur bis wenige Meter unter die Wasseroberfläche, und somit ist die Dichtung in tiefer liegenden Bereichen eher langsamen Temperaturwechseln ausgesetzt, welche sich im Bereich von zirka 0 °C bis 20°C bewegen. In den weiter oben liegenden nicht überstauten Bereichen ist bei direkter Sonnenbestrahlung mit Temperaturen bis zu 80 °C zu rechnen, was wiederum sehr stark von der geografischen Lage des Bauwerkes abhängig ist. Im Winter können die Temperaturen bis minus 40°C fallen. Somit ergibt sich eine Temperaturspanne von bis zu 120°C, in welcher die Dichtung die gestellten Anforderungen erfüllen muss. Aus dieser Problematik ist ersichtlich, dass die stärkste Abnutzung beziehungsweise Beanspruchung der Dichtung im Bereich von wechselnden Wasserspiegellagen anzutreffen ist. Im Hochgebirge stellt der große Temperaturwechsel die größte Belastung dar, wogegen in

tieferen Lage die sommerliche Hitzeentwicklung mit den angesprochenen Höchsttemperaturen sehr hohe Anforderungen an den Asphaltbeton stellt. Da ein sehr wesentlicher Vorteil von Asphalt sein elasto-plastisches Materialverhalten ist, kann mit der Wahl der richtigen Rezeptur den Einwirkungen entgegengewirkt werden. Durch die UV-Strahlung kommt es zu einer schnelleren Alterung des Asphalts und somit wird seine Elastizität immer geringer und die Gefahr von Rissen in der Dichtung steigt. Gegen die Problematik der UV-Strahlung empfiehlt sich, schon während der Planungsphase Schutzschichten (z.B.: Mastixe) oder spezielle Asphaltrezepturen zu verwenden.

4.2.3 Chemische Einwirkungen

Wässer mit gelösten Stoffen können einen chemischen Angriff auf die Asphaltoberflächendichtung zur Folge haben. Diese Gefahr trifft eher in tieferen geografischen Lagen zu. Die Begründung für diesen Zustand ist, dass die Belastung des Wassers größtenteils durch heterogene beziehungsweise anthropogene Einflüsse geschieht, daher korreliert die chemische Belastung mit der Dichte der Besiedelung und Industrie.

4.2.4 Biologische Einwirkungen

Zu den biologischen Einwirkungen zählt vor allem der Bewuchs durch Pflanzen, im speziellen schädigen die Wurzeln die Dichtung.

4.3 Anforderungen an Asphaltbetonoberflächendichtungen

Grundlegende Anforderungen sind Wasserundurchlässigkeit, Standsicherheit, Verformbarkeit, Dauerhaftigkeit, Frost- und Alterungsbeständigkeit, Glätte sowie Ebenföächigkeit. Grundsätzlich sollte ein Durchlässigkeitsbeiwert von mindestens 10^{-8} m/s erreicht werden. Die obere Grenze des wirtschaftlich möglichen ist eine Durchlässigkeit von 10^{-10} m/s. Als wichtigstes Beurteilungskriterium für die Dichtleistung gilt der Hohlraumgehalt der Dichtung. Da die Wasserverluste durch die hydrostatische Druckzunahme mit der Tiefe zunehmen, ist die Anforderung an die Dichtung in tieferen Dammbereichen höher anzusetzen.

4.3.1 Wasserundurchlässigkeit

Grundlage für eine undurchlässige Asphalttschicht ist der Aufbau des Asphaltbetons selbst. Hierzu gilt es ein geeignetes Mischgut hinsichtlich Kornverteilung, Bindemittel- und Hohlraumgehalt herzustellen. Der Hohlraumgehalt ist ein entscheidender Punkt für die Dichtigkeit. Grundsätzlich ist ein Hohlraumgehalt von maximal 3 Vol. % und die Wasseraufnahme im Vakuum von 2 Vol. % anzustreben. Bis zu diesen Werten kann das Material als technisch dicht angesehen werden. Da der hydrostatische Wasserdruck mit der

Tiefe zunimmt, ist in den tiefergelegenen Dichtungsbereichen die relative Durchlässigkeit der Dichtschicht sukzessive zu verringern. Dies erfolgt in der Regel durch eine Verbreiterung der Dichtschicht.

4.3.2 Standfestigkeit und Scherfestigkeit

Die Schichten werden lagenweise eingebaut, deshalb ist der Widerstand gegen das Abrutschen auf der Böschung sowohl zwischen Asphaltbeton und Dammmaterial sowie zwischen den einzelnen Lagen der Dichtung und der Tragschicht (Binder) sicherzustellen. Der Widerstand gegen das Abrutschen beziehungsweise Abgleiten des Materials wird über die Scherfestigkeit ermittelt.

$$\tau = c + \sigma_N * \tan\varphi$$

c ... Kohäsion

φ ... Reibungswinkels

Die Scherfestigkeit von Asphaltbeton kann sich sehr stark, je nach Beanspruchung und Einwirkung unter diversen Umwelteinflüsse, verändern oder davon abhängen. Auch ist zwischen Anfangs- und Endscherfestigkeit zu unterscheiden. Die Anfangsscherfestigkeit hängt sehr stark von der Scherfestigkeit des Korngerüsts, vom Gleitwiderstand der verwendeten Bitumensorte und der Füllerkonzentration ab. Dieser Bereich wird von der Temperatur und der Dauer der Einwirkung beeinflusst. Da Asphaltbeton zum Großteil aus Gesteinskörnungen besteht haben diese ebenfalls einen sehr großen Anteil an der Scherfestigkeit. Hier kommt besonders der Reibungswinkel zum Tragen, welcher wiederum von der Kornform und Kornverteilung, Oberflächenrauigkeit und Lagerungsdichte bestimmt wird. Die Verdichtung beziehungsweise die Lagerungsdichte während des Einbaues wird durch das Rütteln bestimmt, somit ist dieser Arbeitsschritt schlussendlich ausschlaggebend für die Scherfestigkeit des Materials. Da die Scherfestigkeit von den oben genannten Faktoren abhängig ist, ist es empfehlenswert diese durch Versuche mit der vorgesehenen Asphaltbetonzusammensetzung und der Böschungsneigung zu bestimmen.

4.3.3 Genauigkeit und Ebenflächigkeit

Bei Staubecken müssen die Toleranzen projektspezifisch festgelegt werden. Auch spielt die Unebenheit der Dichtung keine so große Rolle, da diese meist unterhalb der Wasseroberfläche liegt.

4.3.4 Dauerhaftigkeit

Grundlegend sollte die Dauerhaftigkeit auf die projektierte Lebensdauer und darüber hinaus ausgelegt werden. Meist ist bei Asphaltbetondichtungen eine Gewährleistung von fünf Jahren vereinbart, dies kann aber projektbezogen abweichen. Besonders ist die Dichtung im Schwell- und Wellenschlagbereich beansprucht. In diesen Bereichen dürfen keine Risse auftreten, zudem darf die Oberfläche weder aufwölben noch abfließen.

4.3.5 Verformbarkeit

Einen großen Vorteil von Asphaltbetondichtungen stellt die gute Verformbarkeit dar. Die Verformbarkeit muss zumindest so groß sein, dass die Setzungen des Dammkörpers mitgemacht werden können, ohne dass Schäden entstehen.

4.3.6 Frostsicherheit und Witterungsbeständigkeit

Die Frostsicherheit von Asphaltbeton hängt prinzipiell vom Aufbau des verwendeten Materials ab. Wenn Wasser in die Hohlräume eindringt und friert, besteht die Gefahr von Frostrissen, welche durch die Ausdehnung des Wassers hervorgerufen werden. Die größte Gefährdung für Schäden durch Gefrieren besteht in den Bereichen der Stauspiegelschwankungen.

4.3.7 Alterungsbeständigkeit

Die Alterungsbeständigkeit ist enorm wichtig, da davon die Dauerhaftigkeit der Dichtung abhängig ist. Hauptausschlaggebend für die Alterungsbeständigkeit ist das Bindemittel. Dieser Sachverhalt wird in Kapitel 6 genau erläutert.

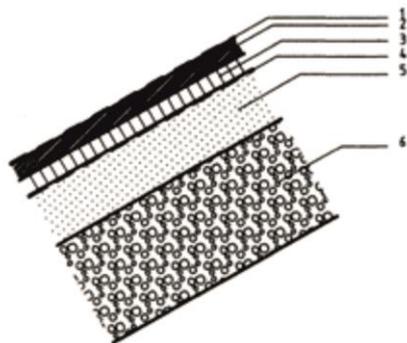
5 Herstellung der Asphaltbetonoberflächendichtung

5.1 Allgemeines

Der Begriff Asphaltbetondichtung beschreibt nur die wasserundurchlässige Asphaltbetonschicht, es wird aber zumeist der gesamte Dichtungskörper inklusive Unterbau darunter verstanden. Der komplette Dichtungsaufbau besteht aus dem nicht-bituminösen Unterbau, der Binderlage, der eigentlichen Dichtungslage und der Oberflächenversiegelung. Falls eine zweilagige Dichtschicht zum Einsatz kommt, kann zwischen den beiden Schichten eine Drainageschicht angeordnet werden. Diese vereinfacht die Kontrollierbarkeit in Bezug auf die Dichtheit erheblich. Dieses System mit zwei getrennten Dichtschichten kommt meist in erdbebengefährdeten Gebieten zum Einsatz. Früher wurde oft die Variante mit zwei Dichtschichten verwendet, aber die Erfahrung zeigte, dass eine Dichtschicht prinzipiell vollkommen ausreichend ist. In Abbildung 1 ist der Standardaufbau einer Asphaltbetonoberflächendichtung ersichtlich.

Abbildung 1: Aufbau Asphaltbetonoberflächendichtung (Rückblick ausgeführte Projekte) [2]

Asphaltbetonoberflächendichtung für Speicherbecken



- 1 Asphaltmestixabsiegelung ca. 2,5 kg/m²
- 2 Asphaltbeton
- 3 Asphaltbinder
- 4 Bitumenemulsion 2-4 kg/m²
- 5 Drän.- u. Ausgleichsschicht (2/56 mm)
- 6 Vorschüttung mit ausgesuchtem Feinmaterial

Kontrollierte Asphaltbetonoberflächendichtung für Speicherbecken



- 1 Asphaltmestixabsiegelung ca. 2,5 kg/m²
- 2 Asphaltbeton
- 3 Dränasphalt
- 4 Asphaltbeton
- 5 Asphaltbinder
- 6 Bitumenemulsion 2-4 kg/m²
- 7 Drän.- u. Ausgleichsschicht (2/56 mm)
- 8 Vorschüttung mit ausgesuchtem Felsmaterial

5.1.1 Unterbau

In Bezug auf den Unterbau muss zwischen einem nichtbituminösen und einem bituminösen Unterbau unterschieden werden. Falls die erstere Variante zur Anwendung kommt sollte diese mindestens 30 cm dick ausgeführt werden und aus einem abgestuften, gebrochenen Material mit wenig Feinsandanteilen und einem Größtkorn von möglichst nicht mehr als 60 - 80 mm bestehen. Die Ausführung mit einer bituminösen Dränschicht als Unterbau wird bei einem feinkörnigen Dammschüttmaterial (was nicht die Regel darstellen sollte) verwendet. Hierbei sollte das Mischgut aus Korngruppen 0/22 mm oder maximal 0/32 mm bestehen. Der Bitumengehalt sollte bei 3 % bis 4 % und das zu erzielende Porenvolumen zwischen 18 % und 22 % liegen. Die Dicke sollte mindestens 8 cm betragen. [2]

5.1.2 Bitumenemulsion

Zur Stabilisierung der Oberfläche einer nichtbituminösen Dränschicht wird auf die Oberfläche eine Bitumenemulsion aufgebracht. Dies bewirkt einen besseren Verbund mit der darauffolgenden Binderschicht und vermeidet Erosion in der Zeitspanne zwischen der Fertigstellung der Dränschicht und dem Einbau der Binderschicht. Die Bitumenemulsion ist zumeist kationisch und hat ca. 60% Bitumengehalt. Die Menge pro Flächeneinheit richtet sich nach Gesteinsart und Korngröße beziehungsweise Kornabstufung. Im Allgemeinen wird eine Menge von zirka 2 -3 kg/m² benötigt. [2]

5.1.3 Binderschicht

Das Mischgut für Binder ist splittreich mit einem Größtkorn von meist nicht mehr als 16 mm. Die Sieblinie der Mineralstoffe wird so eingestellt, dass die fertig eingebaute Binderschicht ein Porenvolumen von zumindest 10 bis 15 % hat. Die erforderliche Bitumenmenge liegt etwa bei 4 bis 5 %. Die Dicke der Binderschicht hängt in hohem Maße vom Unterbau ab. Es ist auch zu berücksichtigen, dass für den Binder oft eine größere Oberflächengenauigkeit als für den Unterbau verlangt wird. Besteht der Unterbau aus einer nichtbituminösen Schotterlage, sollte der Binder auf der Böschung eine mittlere Dicke von mindestens 7 bis 8 cm haben. [2]

5.1.4 Dichtungsschicht

Die eigentliche Dichtungsschicht besteht aus Asphaltbeton. Das ist ein Gemisch aus Splitt, Brech- und Natursand, Füller und Bitumen (siehe Kapitel 1). Die Sieblinie der Mineralstoffe verläuft stetig, das Größtkorn liegt meist bei 11,2 - 16 mm. Der Bitumengehalt ist so abzustimmen, dass einerseits eine ausreichende Umhüllung der Körner, andererseits aber auch die Stabilität auf der Böschung gewährleistet ist. Wichtig für das Verhalten des Asphaltbetons ist aber nicht nur der Bitumengehalt, sondern auch der Gesamtgehalt von

Bitumen und Füller sowie das Bitumen – Füller Verhältnis. In der Regel liegt der Bitumenmengengehalt etwa bei 6,5 bis 7,5% und das Bitumen – Füller Verhältnis bei etwa 1:2. Von Bedeutung für die Verarbeitbarkeit und Verdichtungswilligkeit ist auch der Anteil an rundkörnigem Natursand. Bei sehr steilen Böschungen kann die Böschungsstabilität des Asphaltbetons durch Zugabe von Faserstoffen verbessert werden. [2] Die gemachten Angaben sind nur Richtwerte, welche jeweils auf die projektspezifischen Gegebenheiten abgestimmt werden müssen. Die Dichtschicht sollte nicht geringer als mit einer Dicke von 6 cm ausgeführt werden. Mit modernen Geräten können Schichten bis zu 10 cm Dicke in einem Arbeitsschritt ausgeführt werden. In Sonderfällen bis zu 12 cm. Der Hohlraumgehalt liegt hierbei unter 3 Vol. %.

5.1.5 Oberflächenversiegelung

Zum Schutz der Asphaltlichtschicht gegen das UV – Licht, die gemeinsam mit dem Sauerstoff aus der Luft die Versprödung des Bitumens erwirken, wird die Oberfläche versiegelt. Zur Verwendung kommt entweder Heißmastix, eine Mischung aus etwa 2/3 Füller und 1/3 Bitumen oder auch kalt aufgespritzter Mastix, der ein Lösungsmittel enthält welches nach dem Aufspritzen verdunstet. In beiden Fällen ist der Asphaltmastix ein bitumenreiches Gemisch, das über längere Zeit dem Sonnenlicht genügend Widerstand entgegenbringt und die darunter liegende Dichtschicht vor dem Altern, beziehungsweise vor dem Verspröden schützt. [2] Mit 1,5 bis 3 kg/m² ist die Versiegelungsschicht ausreichend bemessen.

5.2 Schichtdicken

Als Faustregel kann angegeben werden, dass die verdichtete Schicht mindestens dreimal so dick wie der Durchmesser des Größtkorns der Asphaltbetonmischung sein sollte. Einen weiteren Anhalt für die Lagendicke gibt die Tabelle 2, welche auch die beschriebene Faustregel berücksichtigt.

5.2.1 Bituminöse Tragschicht

Bei sehr guter Tragfähigkeit (Vorverdichtung, Bodenstabilisierung) des Bodens auf Böschungen und in der Sohle sollte die bituminöse Tragschicht mindestens 6 cm (ohne Profilieranteil) betragen. Bei geringerer Tragfähigkeit beziehungsweise höheren Wasserdrücken sind die Mindestwerte entsprechend zu erhöhen. Werden bei Vorliegen besonderer Verhältnisse 5 cm oder weniger eingebaut, so gilt dies allgemein nicht mehr als eigene „Unterschicht“, sondern als eine „Bodenverfestigung“ oder Profilierung. [1]

5.2.2 Dichtschichte

Bei einlagigen Dichtungen werden im Allgemeinen Schichtstärken von mindestens 6 cm (ohne Profilierungsanteil) und darüber ausgeführt. Als ideale Schichtstärke für den Neubau einlagiger Dichtungen können erfahrungsgemäß, je nach projektspezifischen Randbedingungen, etwa 8 bis 10 cm angegeben werden. Bei zweilagigen Dichtungen soll die Dicke jeder einzelnen Dichtlage sowohl auf Böschung als auch in der Sohle 6 cm keinesfalls unterschreiten. Sind außer dem Wasserdruck noch zusätzliche Einwirkungen zu erwarten, z.B. : Befahren mit Schwerfahrzeugen, so sind, je nach den Untergrundverhältnissen beziehungsweise der Art der Beanspruchung, entweder die Schichtdicken der Unter- oder der Dichtschicht, oder beider Schichten zu erhöhen. In diesen Fällen ist besonders wichtig, dass an den Stellen mit Neigungsbrüchen die Schichtdicken verstärkt werden. In Bereichen, in denen eine stark unterschiedliche Nachgiebigkeit beim Walzen befürchtet werden muss, sollte zumindest örtlich für die Unterschicht eine größere Dicke gewählt werden. [1]

Die Dichtschichtdicke kann auch mit nachfolgender Näherungsformel bestimmt werden [3]:

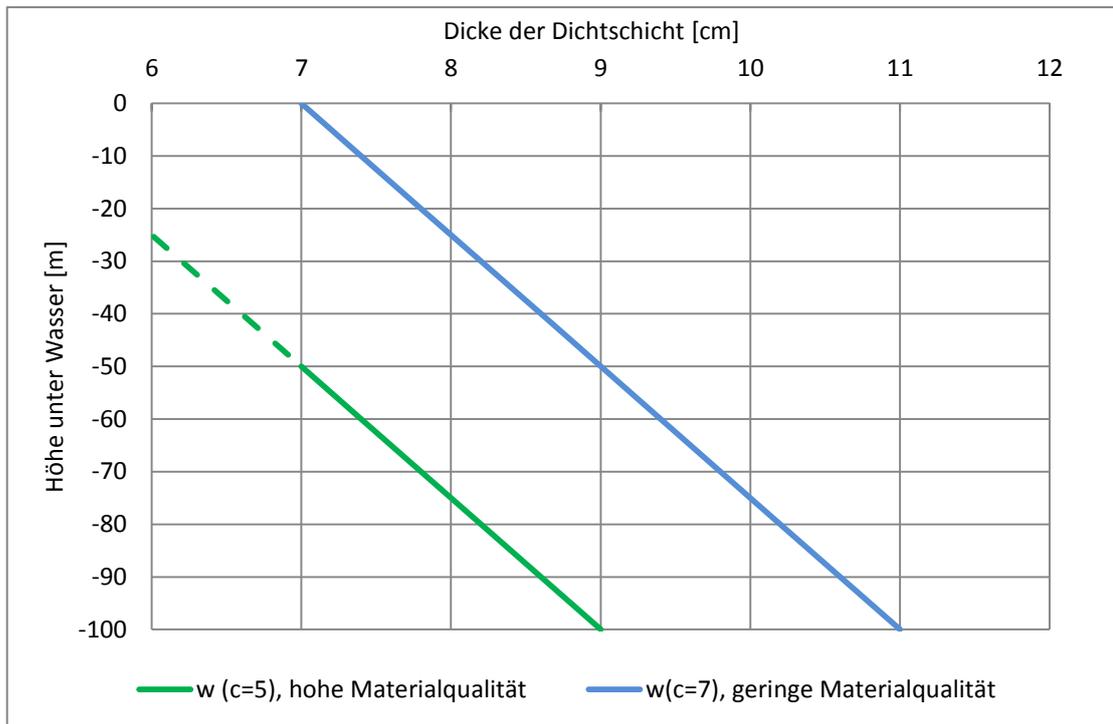
$$w = c + \frac{z}{25}$$

w ... Dicke der Dichtschicht

c ... Konstante abhängig von der Materialqualität

z ... maximale Höhe unter Wasser

Wenn für die Dichtschicht ein sehr hochwertiges Material mit kantiger und gut abgestufter Körnung verwendet wird, kann c kleiner gleich fünf angenommen werden. Falls das Material keine so hohe Qualität hat, empfiehlt es sich den Wert c mit sieben anzunehmen. Auf Grund dieser Formel ergeben sich dann die folgenden Schichtdicken.

Diagramm 1: Dichtschichtdicke w in Abhängigkeit der Wasserhöhe

5.2.3 Schichtdicken für Wasserhöhen bis zirka 20 m

Grundsätzlich sollen bei diesen Wasserhöhen die Schichtdicken bei Neukonstruktionen nicht nur in der Sohle, sondern auch in der Böschung über die ganze Fläche einheitlich sein. Die Werte der nachfolgenden Tabelle sind für Neukonstruktionen und nur dort anwendbar, wo kein Berg- oder Grundwassergegendruck vorhanden ist. Es wird empfohlen, für die Unter- und Dichtschicht nicht die jeweils geringsten Dicken zu verwenden.

Tabelle 2: Richtwerte für Mindestdicken (Dichtschicht) bis 20 m Wasserhöhe [1]

| Tragfähigkeit des Untergrundes | Sohle bis ca. 1:10 Neigung | | Böschung Neigung bis zu 1:1,5 | |
|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | Unterschicht min. - cm | Dichtschicht min. - cm | Unterschicht min. - cm | Dichtschicht min. - cm |
| (siehe Tabelle 6) | | | | |
| I (sehr gut) | 6 – 7 *) | einlagig: 6 – 8 cm | 6 - 8 | einlagig 7 - 10 |
| II (gut) | 7 – 8 | (zweilagig zus: 12**) | 7 - 9 | (zweilagig zus. 12 – 14 **) |

*) in Sonderfällen darunter möglich – ohne Profilierungsanteil

***) Zweilagige Dichtungen heute nur in Sonderfällen üblich

Tabelle 3: Richtwerte für die Beurteilung des verdichteten Untergrundes (Erdbauplanum) aus [1]

| Prüfungsart | I (sehr gute Tragfähigkeit) | II (gute Tragfähigkeit) |
|--|---|--|
| Befahrbarkeit oder Begehrbarkeit (grober Anhaltspunkt) | Keine Eindrücke durch Befahren oder Begehen sichtbar | Geringe Eindrücke durch Befahren oder Begehen jedoch kein Nachgeben des Bodens |
| Rohdichte/ Trockendichte ρ_d | mind. 95% Proctordichte | mind. 90% Proctordichte |
| Lastplattenprüfung oder FDVK mit Kalibrierung LP | EV_1 mind. 60 MN/m ² $EV_2 / EV_1 \leq 2,5$ | EV_1 mind. 30 MN/m ² $EV_2 / EV_1 \leq 3,0$ |

Wenn die in Tabelle 3 genannten Werte nicht erreicht werden, ist entweder zu verdichten (verfestigen) oder es ist eine bituminöse Unterschicht (Tragschicht) einzubauen. Die Schichtdicken aus Tabelle 2 werden aufgrund von bewährten Ausführungen empfohlen.

Bei sehr guter Verdichtung beziehungsweise Verfestigung des Erdbauplanums ist es möglich, die Konstruktionsdicke zu verringern. [1]

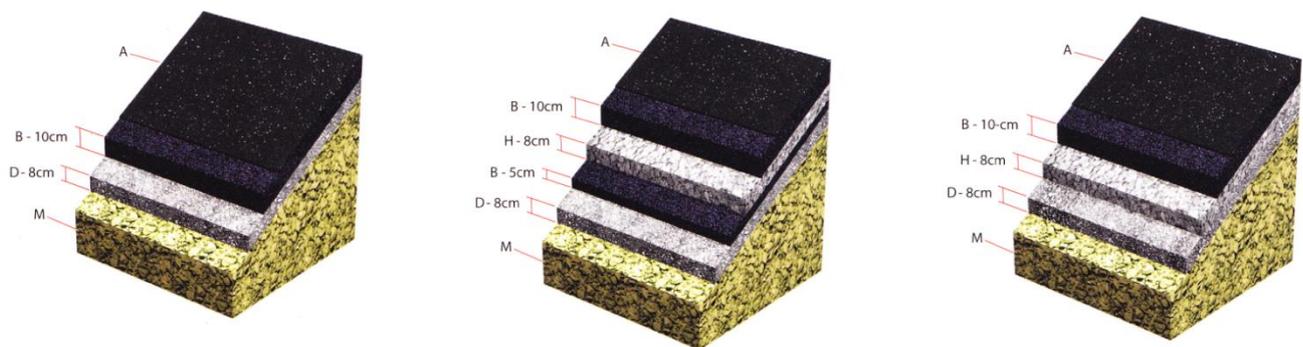
5.2.4 Schichtdicken für Wasserhöhen über 20 m

Üblicherweise wird auch bei größeren Wasserhöhen die Schichtdicke über die ganze Böschung gleich gewählt. Dort, wo aus anderen Gründen Bermen vorgesehen sind, kann in besonderen Fällen und wenn die Übergangsfuge entsprechend ausgebildet wird, die Belagsdicke für den oberen Streifen der Böschungsverkleidung verringert werden. Dabei ist aber zu bedenken, dass die Böschungflächen in der Nähe der Dammkrone zwar kleineren Wasserdrücken aber größeren Setzungen ausgesetzt sind, weshalb die Belagsdicke nicht schematisch nach oben verringert werden sollte. [1] Bei Dämmen die höher als 20 m sind, gelten die Richtwerte der Tabelle 2 nicht mehr. Hier ist eine projektspezifische Ausführung notwendig.

5.3 Herstellungsvarianten von Asphaltbetonoberflächendichtungen

Grundsätzlich wird zwischen drei Aufbauten unterschieden, welche in der Abbildung 2 dargestellt sind.

Abbildung 2: Varianten Dichtungsaufbau [23]



A... Mastix, B... Dichtung, D... Binder, H... Drainage, M... Dammkörper

5.3.1 Normal

Dieser Aufbau stellt den Standardfall dar. Wie in Abbildung 3 ersichtlich, befindet sich im Aufbau keine Drainageschicht und somit kann die Dichtung auch nicht flächenweise auf Sickerwässer bzw. Undichtheiten kontrolliert werden.

5.3.2 Sandwich

Die Sandwichbauweise ist die aufwendigste und teuerste Variante der drei. Diese wird angewandt, wenn eine Drainageschicht mit unten liegender Sekundärdichtschicht vorgesehen ist. Mit Hilfe dieses Aufbaues kann die Dichtheit der äußeren Dichtschicht kontrolliert werden.

5.3.3 Semi-Sandwich

Diese Bauweise unterscheidet sich zur Sandwichbauweise dadurch, dass unterhalb der Drainageschicht keine weitere Dichtungsebene angeordnet ist. Da mithilfe dieses Aufbaues die Dichtheit permanent überwacht werden kann, der Aufbau aber unkomplizierter und somit wirtschaftlicher wie bei der Sandwichbauweise ist, stellt dieser eine sehr gute Option dar.

5.4 Herstellung

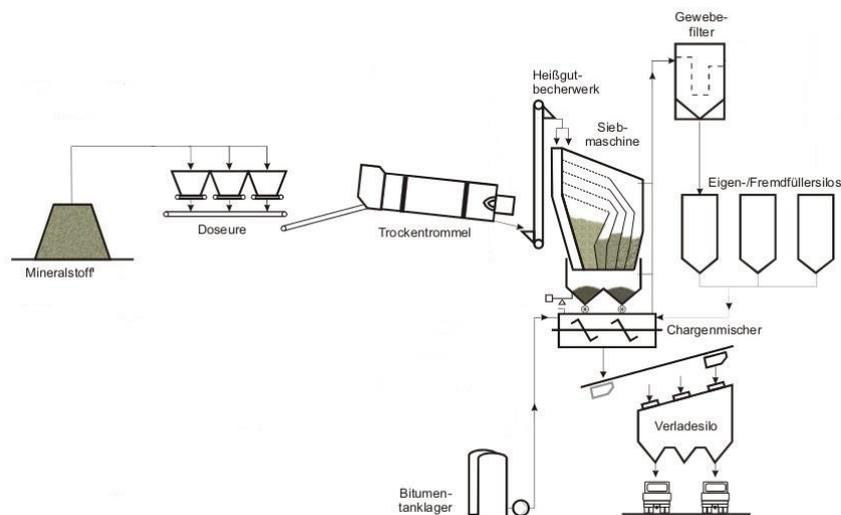
5.4.1 Anlieferung von Bitumen und Mineralstoffen

Um Asphaltbeton herstellen zu können benötigt man Gesteinskörnungen und ein Bindemittel. Die Gesteinskörnungen werden Sortenweise angeliefert und getrennt gelagert. Bei der Bitumenanlieferung muss zwischen Bitumen und PmB (polymermodifizierten Bitumen) unterschieden werden. Bitumen wird meist mit niedrigeren Temperaturen angeliefert und anschließend in der Mischanlage auf die vorgesehene Temperatur erhitzt. Im Gegensatz dazu wird PmB mit höherer Temperatur geliefert als es im Tank bei der Lagerung besitzt. Bitumenhersteller lagern diversen Bitumensorten meist bei Temperaturen von 200 °C in dafür vorgesehenen Tanks. Da das Bitumen nach seiner Produktion eine Temperatur von zirka 400 °C hat ist die Lagerung bei diesen Temperaturen unproblematisch, da es nur eine Abkühlung und keine erneute Erhitzung gibt. Diese speziellen Tanks werden im Gegensatz zu den an den Baustellen verwendeten Tanks mit Gas beaufschlagt, somit ist kein Sauerstoff (O₂) vorhanden und es tritt keine Vorzeitige Alterung durch Oxidation ein. Bei den Mischanlagen steht O₂ in Kontakt mit dem Bitumen daher ist hier eine niedrigere Lagertemperatur vorgesehen. Wenn diese Temperaturen vor Ort nicht eingehalten werden, kommt es zu einer chemischen Reaktion, welche als Oxidation bezeichnet wird und das Bitumen erfährt eine vorzeitige Alterung. Der Prozess der Oxidation wird wie die meisten chemischen Prozesses durch Erhöhung der Temperatur beschleunigt. Der Transport von PmB erfolgt bei zirka 200 °C in speziell dafür vorgesehen Transportern. Die Probenahme und Qualitätskontrolle von frisch angelieferten Bitumen erfolgt immer bevor es vom LKW in den Tank befördert wird um Qualitätsprobleme zu vermeiden. Bitumen mit denselben Eigenschaften muss nicht vom selben Hersteller sein. Nach der Durchmischung lässt sich nicht feststellen welches Bitumen von welchem Hersteller bei Qualitätsproblemen die Ursache war. Die Prüftemperaturen übersteigen meist die empfohlenen Lagertemperaturen, dies ist auf den Ort und Zeitpunkt der Probenahme zurück zu führen. Im Tank vor Ort wird das Bitumen auf der vorgesehenen Temperatur gehalten. Es sind zu starke Temperaturschwankungen zu vermeiden.

5.4.2 Mischanlagen und Mischanlagenüberwachung

Verwendete Mischanlagen müssen eine gleichmäßige und komplette Umhüllung der Mineralstoffe mit dem Bindemittel (Bitumen und PmB) gewährleisten. Der gesamte Mischprozess muss unter kontrollierten Rahmenbedingungen ablaufen. Es sind nur diskontinuierliche Mischanlagen zugelassen. Die Distanz zwischen Mischanlage und Einbauort sollte möglichst gering gehalten werden, damit die Wärmeverluste und die Oxidation welche eine Versprödung des Material verursachen gering gehalten werden.

Abbildung 3: Schema einer Mischanlage zur Herstellung von Asphaltbeton



1. Zugabe von Mineralstoffen

Die Vordosierung einzelner Korngruppen muss gewichtsmäßig getrennt erfolgen. Korngruppen müssen von der Sortieranlage in mindestens vier Korngruppen, wobei Sand eine davon ist, getrennt werden. Dieser Vorgang wird in der Dosieranlage vorgenommen. Wichtig ist dabei, dass die Siebflächen groß genug sind, um bei voller Produktionsleistung genügend Mineralstoffe zu liefern.

2. Trockentrommel und Siebmaschine

In der Trockentrommel werden die Korngruppen auf einen vorher festgelegten Wert getrocknet. Nach diesem Vorgang wird eine weitere Siebung, welche genauer ist als bei der Vordosierung, vorgenommen.

3. Bindemittelzugabe

Das Bindemittel wird vollautomatisch dem Chargenmischer zugegeben. Die Genauigkeit der Dosiereinrichtung für Dichtungsschichten liegt im Toleranzbereich von $\pm 0,2$ Gewichtsprozent (Mittelwert der Abweichung). Höhere Abweichungen für die Binder bzw. Drainageschichten sind gesondert zu vereinbaren. Die Tanks für die Bindemittellagerung müssen mit Thermometern ausgestattet sein und dürfen die festgelegte maximale Bindemitteltemperatur nicht übersteigen.

4. Chargenmischer - Verladesilo

Im Chargenmischer werden die genau dosierten Korngruppen mit dem Bindemittel sowie mit dem Eigen- und Fremdfüller vermischt. Anschließend kommt der fertige Asphaltbeton in den Verladesilo und ist für den Transport zum Einbauort bereit.

5.4.2.1 Mischanlagenüberwachung

Folgende Materialeigenschaften und Funktionen sind zu überwachen:

1. Beschaffenheit der einzelnen Zuschlagsstoffgruppen hinsichtlich Korngröße und Sauberkeit
2. Regelmäßiger Auslauf der Körnungen aus den Vordosieranlagen
3. Einstellung der Messeinrichtungen am Vordosiergerät bzw. an allen Dosiereinrichtungen
4. Die Mineralwaage und die Bindemitteldosieranlage
5. Die Temperatur des Bitumens und der Zuschlagsstoffe vor dem Mischer
6. Die Temperatur der Asphaltbetonmischung ab dem Mischer

Tabelle 4 gibt Richtwerte für Temperaturen bei der Herstellung und Verarbeitung von Asphaltbeton. In der Praxis ergibt sich eine Schwankung von + 10 °C und – 15 °C. [1 S. 43-44]

Tabelle 4: Richttemperatur an Mischanlage [1 S. 44]

| | B 160/200* | B 70/100 | B 50/70 | B 30/45* | PmB** 45/80 |
|---|------------|----------|----------|----------|--------------------------|
| Gestein Auslauf Trockentrommel [°C] | 150 -170 | 160 -190 | 165 -190 | 170 -190 | 160 -190 |
| Bindemittel beim Einspritzen [°C] | 160 -170 | 170 -185 | 175 -185 | 180 -190 | 170 -190*** (200)**** |
| Mischgut im Mi- scher [°C] | 145 -165 | 155 -180 | 160 -185 | 165 -185 | 160 -180*** (190)**** |

* Diese Bindemittelsorten werden nicht für den Dichtungsbau verwendet sondern kommen gegebenenfalls bei Nebenkonstruktionen zum Einsatz.

** Richtwerte von weiteren Spezifizierungen (PmB Art, etc.) abhängig; projektbezogen festzulegen

*** für normale Verhältnisse des Einbaues

**** kurzzeitig möglich

Die Probenahme des Bitumens erfolgt bei der Umladung des Bitumens vom LKW in den Bitumensilo. Hier hat das Bitumen eine Höhere Temperatur wie es laut Tabelle 5 bei der Lagerung haben dürfte. Grund dafür ist, dass das Bitumen nach der Produktion bei Temperaturen von zirka 400 °C in speziellen mit Gas befüllten Tanks gelagert wird (keine Luft → keine Oxidation). Transportiert wird das Bitumen bei rund 200 °C in Tankwagen. Im Silo wird das Bitumen dann auf die richtige Lagertemperatur herabgekühlt (vermeiden von Temperaturschwankungen). Anhand der Probenahme beim Damm Dießbach wird der soeben beschriebene Vorgang in zwei Diagrammen dargestellt (siehe Diagramm 2 und Diagramm 3).

Bei Bitumen von OMV welche mit der Produktbezeichnung Plus versehen sind wird die Lagertemperatur aufgrund der Additive auf 165 °C gesenkt.

Diagramm 2: Temperaturverlauf bei Probenahme Asphalt dichtung

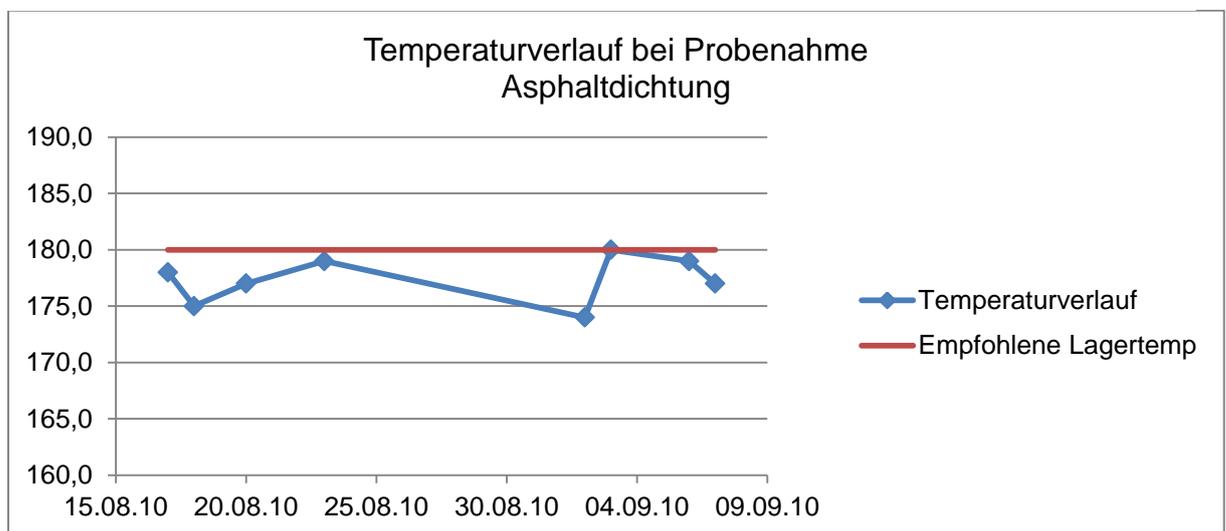
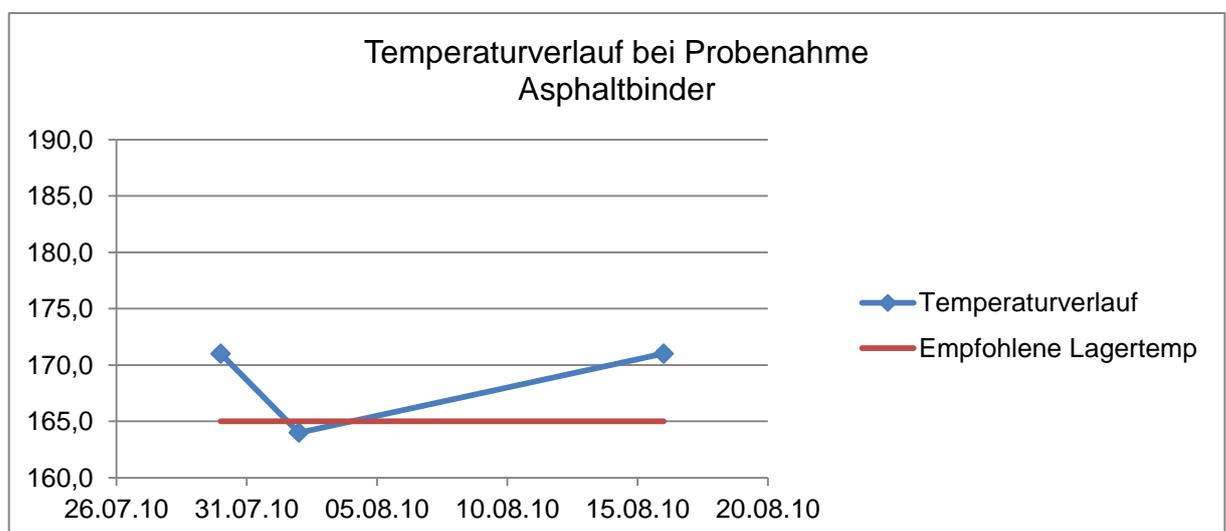


Diagramm 3: Temperaturverlauf bei Probenahme Asphaltbinder



5.4.3 Transport und Einbau von Asphaltbeton

Asphaltbeton darf nur bei speziellen Rahmenbedingungen eingebaut werden. Hierzu zählen neben dem sauberen und trockenen Unterbau spezielle Anforderungen an das Klima. Ob der Einbau stattfinden kann ist von einem Experten unter Berücksichtigung des Zusammenwirkens aller beeinflussenden Parameter abzuschätzen. Bei starkem Regen und Frost ist ein Einbau im Wasserbau nicht zulässig. Der Unterbau muss soweit abgetrocknet sein, dass eine einwandfreie Verbindung hergestellt werden kann, die Temperatur des Unterbaues darf nicht unter 0 °C liegen. Bei Lufttemperaturen unter + 5 °C sowie bei starkem Wind beziehungsweise Regen darf nicht eingebaut werden. Die Regeln für den Einbau sind besonders bei Dichtschichten einzuhalten, bei hohlraumreichen Schichten (Filter- und Drainageschichten etc.) können gesonderte Vereinbarungen getroffen werden. Falls bei schlechten Witterungsbedingungen eingebaut werden muss, darf dies nur unter besonderer Vorsicht und besonderen Vorsorgemaßnahmen, wie Erhöhung der Schichtdicken, abdecken des Mischgutes etc. erfolgen. Bei mehrlagigen Dichtungssystemen muss die untere Schicht komplett abgetrocknet sein bevor die nächste Lage eingebaut werden darf, ebenso ist das hantieren mit offenen Flammen auf den Lagen verboten. Der Versuch schlechte Witterungsbedingungen durch Temperaturerhöhungen des Asphaltbetons zu kompensieren ist strengstens verboten (vorzeitige Alterung des Bitumens). [1]

5.4.4 Verteilen und Verdichten

Die Maximale Transportzeit wird vom Temperaturverlust, der Sauerstoffoxidation und dem Entmischungsvorgang des Asphaltbetons bestimmt. Diese ist projektspezifisch festzulegen und unbedingt einzuhalten. Falls ungünstige Witterungssituation auftreten muss der Asphaltbeton vor dem Auskühlen durch zusätzliche Isolierungen geschützt werden. Da das Mischgut an der Einbaustelle vom LKW in den Fertiger umgeladen werden muss, sollte die Kontrollmessung der Temperatur vor dem Umladen erfolgen. Die Temperatur im Transportgefäß muss höher sein als die Einbautemperatur, da beim Umladen, ausbreiten und walzen Temperaturverluste eintreten. Die Vorverdichtung bei der Verteilung hat mindestens 90% zu betragen und ist maschinell durchzuführen. Welche Einbaugeräte und Verfahren für die Verdichtung angewandt werden sind vom Auftragnehmer dem Auftraggeber vorzuschlagen. Der Einbau von Hand ist auf ein Minimum zu reduzieren und ist nur dann zulässig wenn beschränkte Raumverhältnisse, ungünstige Flächenformen, kleinere Böschungslängen etc. die Verwendung eines Fertigers unmöglich machen. Die Qualitätsanforderungen sind ident für den Hand- und Maschinellen Einbau. In Tabelle 5 werden Richtwerte für Temperaturbereiche für den Transport und den Einbau angegeben.

Tabelle 5: Temperaturbereiche für Transport und Einbau [1 S. 45]

| | B 70/100 | B 50/70 | PmB** |
|----------------------------------|----------|----------|---------|
| Temperatur am Silo | 155-180 | 155-180 | 155-190 |
| Temperatur Übergabe Fertiger | 150-180 | 150-180 | 150-180 |
| Temperatur für 1. Walzgang* | Min. 120 | Min. 120 | ** |
| Temperatur für letzten Walzgang* | 80-120 | 90-120 | ** |

* Temperatur gemessen mittig in seitlicher Dichtlage (keine Oberflächentemperaturen)

* Spezielle Festlegungen vor Arbeitsbeginn bzw. während Einbauversuchen

5.4.5 Einbausysteme an Böschungen

Grundsätzlich sollte so viel als möglich maschinell an der Dichtung hergestellt werden, der Einbau von Hand stellt die Ausnahme dar. Der Einsatz von verschiedenen Gerätetypen ist von der Geometrie (Neigung) der herzustellenden Fläche, der Größe sowie der gewünschten Verdichtung abhängig. Diese Hauptparameter legen die geeigneten Maschinen für den Einbau fest.

Beim Einbau an der Böschung muss zwischen vertikalem und horizontalem Einbau unterschieden werden.

5.4.5.1 Vertikaler Einbau

Bei dieser Einbauvariante wird der Einbau der Falllinie nach von unten nach oben in Bahnbreiten von 2,50 m bis 6,00 m vorgenommen. Diese Maßangaben stellen die Norm da, natürlich können Sondermaße zum Einsatz kommen. Der vertikale Einbau wird in zwei Untersysteme unterschieden, zum einen vertikaler Einbau mit Nachladen und zum anderen in vertikalen Einbau ohne nachladen.

5.4.5.2 Horizontaler Einbau

Der horizontale Einbau wird bei Staubecken selten angewandt, da für diese Variante eine relativ gleichmäßige Geometrie Grundvoraussetzung ist. Vorteile bietet diese Bauweise bei der Dichtungsherstellung von Kanälen und großen Becken. Dieses Einbauverfahren kann als kontinuierliche Bauweise angesehen werden.

5.4.6 Einbausysteme an der Sohle

Hier wird wie beim Einbau die Dichtung in Abschnitten von zirka 4,0 m bis 6,0 m hergestellt. Die Einbauvarianten und Geräte unterscheiden sich zum Straßenbau durch die Verwendung von schweren Bohlenfertigern, meistens auf Raupen, speziellen Steuerungseinrichtungen, Verdichtungsgeräten sowie einer speziellen Einbautechnik.

5.4.7 Einbaugeräte

Aufgrund der verschiedenen Einbauvarianten, unterscheiden sich auch die Einbaugeräte in vertikale und horizontale.

5.4.7.1 Vertikale Einbaugeräte

Eine maschinelle Gerätegruppe besteht aus einem Böschungsfertiger mit dazugehörigem Windenportal und mehreren Böschungswalzen sowie Walzenwindenwagen. Beim Vertikaleinbau wird immer von unten nach oben eingebaut und verdichtet. Dabei führt das auf der Dammkrone stationierte Windenportal den Einbaufertiger in der Falllinie. Die Mischgutzufuhr erfolgt beim Vertikaleinbau mit Nachladung über die Krone, beim Einbau ohne Nachladung sowie beim Horizontaleinbau über Sohle oder Krone. [4]

5.4.7.2 Horizontale Einbaugeräte

Bei den horizontalen Einbaugeräten erstreckt sich das Einbaugerät über die gesamte Böschungshöhe. Die Befüllung der Maschine mit Mischgut erfolgt am Böschungsfuß. Durch diese Bauweise kann die Asphaltbetondichtung kontinuierlich hergestellt werden.

5.4.7.3 Verdichtungsgeräte

Die Verdichtungsarbeit kann direkt vom Fertiger durch so genannte Hochverdichtungsbohlen geleistet werden oder es werden mittelschwere Vibrations- Tandemwalzen mit Stahlbandagen eingesetzt. Diese beiden Gerätetypen sind speziell für diese Anwendung konzipiert. Mit diesen Verdichtungsgeräten können Schichtstärken, bei der unteren Tragschicht sowie bei der Deckschicht von 15 bis 20 cm eingebaut und verdichtet werden.

6 Asphaltbeton für Dichtungen im Wasserbau

6.1 Asphaltbeton

Der Asphaltbeton besteht aus hochwertigen Splitten, Sanden, Füllern und Bitumen sowie allenfalls Additiven. Durch eine geeignete Zusammensetzung und ein abgestimmtes Mischverhältnis dieser Stoffe zu einem dichten, widerstandsfähigen Mischgut erhält man ein Produkt, das den gestellten Anforderungen entspricht.

6.1.1 Wichtigste Eigenschaften von Asphaltbeton:

1. Geringe Durchlässigkeit (technisch dicht)
2. Aufnahme und Abbau von Spannungen bei großen Temperatur- und Lastwechseln
3. Standfestigkeit auf geneigten Flächen
4. Flexibilität, problemlose Aufnahme von Setzungen des Unterbaues und des Dammkörpers
5. Umweltfreundlich und ungiftige Bestandteile
6. Alterungsbeständigkeit
7. Hohe plastische Verformbarkeit
8. Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Einwirkungen (z.B.: Befahren, Steinschlag und Eisgang etc.)
9. Erosionssicherheit

Besonders positive Aspekte der Asphaltbetondichtungssysteme sind der relativ dünne Aufbau, die hohe Fertigungssicherheit und die Einbaugeschwindigkeit.

6.1.2 Standfestigkeit auf Böschungen

Je steiler die Neigung der Dichtung, desto mehr neigt Asphaltbeton zum Kriechen. Dieses Problem ist auf das viskoelastische Verhalten des Bitumens zurück zu führen (siehe 7.1.4.2). Um die Standfestigkeit der Asphaltbetonschicht zu gewährleisten, muss ausreichend Hohlraum für das Bitumen vorhanden sein sowie ausreichend Brechkorn um die Stabilität zu erhöhen. Die Erhöhung dieser beiden Anteile hat eine Verringerung des Rundkornanteils zur Folge, somit verschlechtert sich das Einbauverhalten.

Früher wurden zur Erhöhung der Standfestigkeit Asbestfasern eingesetzt, heute sind diese aber nicht mehr zulässig und gebräuchlich. Grundsätzlich ist die Verwendung von Fa-

serzusätzen wegen der fortgeschrittenen Asphaltbetontechnologie nicht mehr nötigen, falls diese aber doch zum Einsatz kommen, werden Zellulosefasern verwendet.

6.1.3 Wasserundurchlässigkeit

Mit steigender Druckhöhe nehmen die Wasserverluste zu, daher werden an Dichtungen abhängig vom Druck unterschiedliche Anforderungen an die Dichtheit gestellt. Asphaltbetonschichten mit einem Hohlraumgehalt unter 3 Vol. % können als theoretisch dicht angesehen werden. Die Wasserundurchlässigkeit wird durch folgende Maßnahmen verringert

1. Günstige Sieblinie und Kornverteilung
2. Optimaler Bitumengehalt
3. Verdichtung (Hohlraumgehalt ≤ 3 Vol.%, besser ≤ 2 Vol.%)

Im Wasserbau werden Dichtungen mit Durchlässigkeitsbeiwerten nach Darcy von 10^{-8} m/s bis 10^{-9} m/s erreicht. Die Grenze des wirtschaftlichen stellen Werte von 10^{-10} m/s dar.

Die Wasserundurchlässigkeit kann über den Hohlraumgehalt im Labor oder über einen Feldversuch bestimmt werden. Vorteil der Feldüberprüfung mittels Vakuumblocke ist die zerstörungsfreie Prüfung direkt an der Dichtung. Da die Dichtheit lokal schwanken kann und das auch wird ist der Versuch nach einem festgelegten Raster mehrmals durchzuführen.

In der auf den zu prüfenden Punkt aufgesetzten Vakuumblocke (siehe Abbildung 4) wird mit einer Vakuumpumpe ein Unterdruck von 80 kN/m^2 erzeugt. Anschließend wird die Pumpe abgesetzt und das Ventil verschlossen. Es wird der Verlauf des Unterdruckes in der Glocke beobachtet. Bleibt der Druck annähernd konstant ist die Dichtung als dicht zu klassifizieren.

Abbildung 4: Vakuumblocke für Dichtheitskontrolle am Bauwerk [5]



6.1.4 Standfestigkeit auf geneigten Flächen

Die Steifigkeit von Asphaltbeton hängt von der Temperatur ab. Bei hohen Temperaturen kann die Problematik des Fließens bei zu steilen Böschungsneigungen eintreten. Die Prüfung der Standfestigkeit auf Böschungen wird in der Norm nicht festgelegt. Nach Van Asbeck gibt es einen Versuch der hier Abhilfe schafft. Halbierte Marschall – Prüfkörper werden bei einer festgelegten Temperatur (maximale Temperatur am Bauwerk) auf einer schiefen Ebene (entspricht Böschungsneigung) gelagert. Gegen das Abrutschen schützt eine zirka 1 cm hohe Kante. Die temperierten Proben werden im Wärmeschrank bei entsprechender Temperatur 48 Stunden gelagert. Nach den 48 Stunden wird die Verformung gemessen. Dieser Versuch ist rasch durchführbar und gibt einen Aufschluss über die Standfestigkeit.

Abbildung 5: Prüfkörper Versuch Standfestigkeit [3]



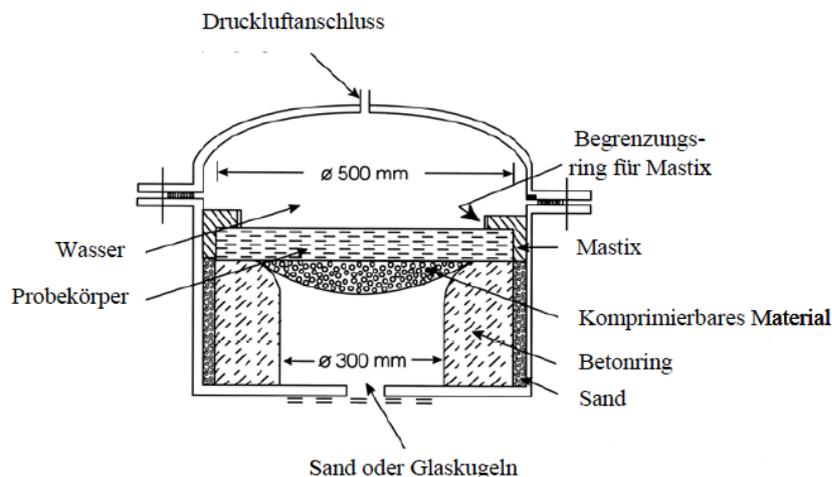
6.1.5 Überprüfung der Flexibilität

„Die Flexibilität wird als Verhältnis vom Durchmesser des freistehenden Probekörperteils zur Tiefe der Verformung angegeben.“ [5 S. 99]

Diese Eigenschaft des Asphaltbetons ist besonders an Stellen wo Setzungen des Unterbaus erwartet werden wichtig. Durch die Verformungen kommt es zu einer Veränderung im Material. Das Bitumen und die Körnung können teilweise ihre Haftung verlieren und somit entstehen Hohlräume. Jede Asphaltbetonrezeptur hat unterschiedliche Zusammensetzungen, deshalb ist auch die Flexibilität von Rezeptur zu Rezeptur unterschiedlich. Maßgebend für diese Eigenschaft ist das Bindemittel (Bitumen). Zweckmäßige Mischungen sollten zumindest eine Dichtheit bis zu einem Verhältnis Muldendurchmesser zu Muldentiefe von 10:1 sicherstellen ($20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$). Abhängig von den projektspezifischen Gegebenheiten sind die Mischungen zu wählen.

Der Versuch wird im Labor durchgeführt. Einen Probekörper mit einem Durchmesser von 500 mm, einer Dicke entsprechend der Sollstärke der Dichtung wird verdichtet und in das Prüfgerät (Abbildung 6) eingebaut. Im Gerät befindet sich komprimierbares und wasserdurchlässiges Material unterhalb des Prüfkörpers. Am versuchsbeginn muss die Probe überall gleichmäßig aufliegen. Anschließend wird der Deckel luftdicht geschlossen und der Hohlraum zwischen Probekörper und Deckel mit Wasser aufgefüllt und unter Druck gesetzt. Durch diese Belastung beginnt die Probe sich zu verformen. Das Verformbare Material unter der Probe hat einen Durchmesser von 300 mm. Somit liegt die Probe mit einem 100 mm starkem Kreisring auf. Die maximale tiefe der Verformung bei einem Verhältnis von Muldendurchmesser zu Muldentiefe von 10:1 ist mit 30 mm gegeben. Bei dieser Verformung muss die Probe Dicht sein.

Abbildung 6: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Flexibilität [5]



6.1.6 Alterungsbeständigkeit von Asphaltbeton

Neben den Alterungserscheinungen von den übrigen Bestandteilen des Asphaltbetons, hat das Bitumen die größte Einwirkung auf die Alterung der Asphaltbetons. Der Vorgang der Alterung ist grundsätzlich abhängig von:

1. der Art des Bitumens und dem Bitumengehalt
2. der Mischtemperatur und Verarbeitungstemperatur
3. dem Hohlraumgehalt der Mischung (geringere Verhärtung bei kleinerem Hohlraumgehalt)
4. der Sauerstoffoxydation beim Mischen, Transport und Einbau
5. den äußeren Beanspruchungen bzw. Einwirkungen (z.B.: UV-Strahlung, Wasser- und Eisüberdeckung, extrem tiefe Temperaturen, etc.)

6. den verwendeten Zuschlagstoffen

Auf den genauen Ablauf und die Ursachen der Alterung wird im Kapitel 7.1.3 eingegangen.

6.2 Asphaltmastix - Oberflächenversiegelung

Asphaltmastix beschreibt einen in heißem Zustand gießbaren Gussasphalt mit einem Bindemittelüberschuss (weiches Bitumen), welcher den Haufwerkshohlraum übersteigt und eine feinkörnige Gesteinskörnung im Kornbereich 0/2 mm aufweist. Dieser Werkstoff verhält sich flüssigkeitsähnlich und muss daher nicht verdichtet werden.

Oberflächenversiegelungen haben keine Dichtfunktion, diese wird ausschließlich von den Dichtschichten übernommen. Zu den Aufgaben dieser Schichten zählt

1. Schutz gegen Versprödung des Bitumens (z.B.: UV – Strahlung)
2. Oberflächenrauigkeiten verschließen

Der Versprödungsschutz stellt einen so hohen Stellenwert da, dass der Nachteil bei der visuellen Kontrolle der darunterliegenden Schichten akzeptiert wird.

7 Bestandteile von Asphaltbeton

In diesem Kapitel werden die einzelnen Bestandteile aufgelistet und deren Eigenschaften beschrieben.

7.1 Bitumen

Bitumen besteht aus Kohlenwasserstoffen und Kohlenwasserstoffderivaten, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel. Neben diesen Bestandteilen liegen diverse Schwermetalle in porphyrinartigen Strukturen vor. Die Molekulargewichte liegen zwischen 500 und 10 000 und ihre Mengenverhältnisse stehen in direkter Beziehung zu den Eigenschaften. Die Zusammensetzung von Bitumen ist vom Reifegrad der Rohöle, von der termischen Beanspruchung in den Lagerstätten sowie von der geologischen Situation abhängig. „In vielen Untersuchungen ist versucht worden, aus der Zusammensetzung eine Beziehung zum Verhalten der Bitumen in der Praxis herzustellen. Außer einer graduellen Beeinflussung gewisser Affinitäten zu bestimmten Gesteinen, sind die Unterschiede zwischen Bitumen innerhalb einer Sorte nur gering und durch Effekte aus der Zusammenwirkung mit den Mineralkomponenten überlagert.“ [6 S. 89] Bitumen ist schwer flüchtig und zählt zu der Gruppe der Thermoplaste. Das Bitumen besitzt temperaturabhängig die Aggregatzustände flüssig bis fest. Im flüssigen Zustand entspricht das Bitumen der Struktur eines Soles, darunter wird eine kolloidale Lösung der Asphaltene in den Maltenen verstanden. Das Verhältnis Asphaltene und Maltene im Bitumen bestimmt neben der Temperatur die mechanischen Eigenschaften wie Festigkeit, Verformbarkeit und Temperaturbeständigkeit. Bitumen besitzt keinen Schmelzpunkt sondern einen Erweichungspunkt. Bitumen stellt ein Nebenprodukt in Mineralölproduktion dar und wird nicht energetisch genutzt. Der Anteil von Bitumen auf den Märkten von Mineralölprodukten beläuft sich auf 2 bis 4%. Der Vorteil dieses Materials ist, dass es sehr gut recycelt werden kann.

Hauptbestandteile von Bitumen sind diverse Kohlenwasserstoffe und Kohlenwasserstoffderivate. Die Zusammensetzung in Art und Menge ist sehr stark von der geografischen Herkunft abhängig. Aufgrund der großen Anzahl von sich aufbauenden Stoffen haben alle Bitumen meist sehr ähnliche Eigenschaften. Hauptausschlaggebend ist die Struktur nicht die chemische Zusammensetzung. Alle Bitumen weisen einen Kohlenstoffgehalt zwischen 80 bis 85 M.%, Wasserstoff 7 bis 10 M.% und Sauerstoff 2 bis 9 M.% auf.

Zu den wichtigsten Eigenschaften des Bitumens zählt die Resistenz gegen eine Vielzahl von chemischen Angriffen, die Wasserunlöslichkeit und dass es ungiftig sowie geschmacksneutral ist. Somit kann es auch für die Dichtung von Trinkwasserbecken verwendet werden. Durch die Einwirkung von UV-Licht und Oxidation aus dem Luftsauerstoff kann eine schnellere Alterung des Bitumens als unter Laborbedingungen eintreten. Unter Alterung versteht man eine Erhärtung beziehungsweise Versprödung des Bitumens. Auch ist der Alterungsprozess von der Temperatur abhängig, somit muss auch

beim Einbau darauf Acht gegeben werden, dass hierbei das Bitumen nicht überhitzt und der Alterungsprozess beschleunigt wird.

Der Tabelle 6 können auszugsweise Begriffe im Zusammenhang mit Bitumen entnommen werden. [7]

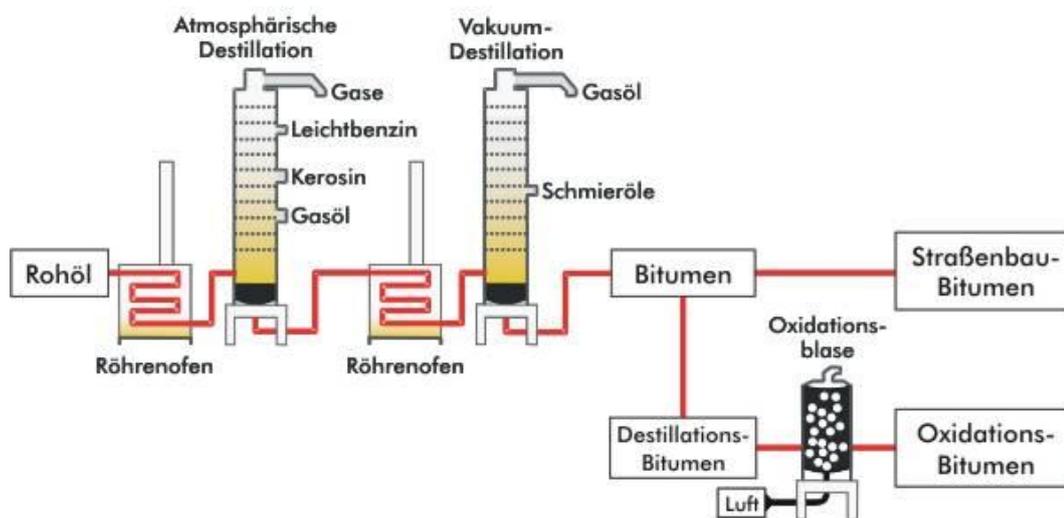
Tabelle 6: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Ausgewählte Terminologie

| Begriff | Definition laut EN 12597:2012 |
|-------------------------------------|---|
| Bindemittel | Material, das zum Kleben an Gesteinskörnungen dient und die Kohäsion des Mischgutes sicherstellt |
| Bitumen | Nahezu nicht flüchtiges, klebriges und abdichtendes erdölstämmiges Produkt, das auch in Naturasphalt vorkommt und das in Toluol vollständig oder nahezu vollständig löslich ist. Bei Umgebungstemperatur ist es hochviskos oder nahezu fest |
| modifiziertes Bitumen | Bitumenhaltiges Bindemittel, dessen rheologische Eigenschaften bei der Herstellung durch Verwendung eines oder mehrerer chemischer Zusätze modifiziert worden ist |
| polymermodifiziertes Bitumen (PmB) | Mit einem oder mehreren organischen Polymeren modifiziertes Bitumen |
| Oxidationsbitumen | Bitumen dessen rheologische Eigenschaften wesentlich durch Reaktion mit Luft bei erhöhter Temperatur modifiziert wurde |
| polymermodifizierte Bitumenemulsion | Emulsion, in der die dispergierte Phase ein polymermodifiziertes Bitumen ist oder eine Bitumenemulsion, die mit polymerisiertem Latex modifiziert worden ist |
| Asphalt (Beton) | Mischung von Gesteinskörnungen (spezielle) mit einem Bitumenhaltigen Bindemittel |

7.1.1 Bitumengewinnung

„Bitumen gewinnt man technisch aus Erdölen. Mit Hilfe der fraktionierten Destillation nach ÖNORM EN 12591 werden aus dem Erdöl zunächst die hochwertigen Bestandteile wie Treibstoffe (z.B.: Gas, Benzin, Diesel, Kerosin etc.) sowie leichtere und schwerere Öle gewonnen. In einer anschließenden Vakuumdestillation können dem verbliebenen Erdölrückstand weitere Produkte wie Gase und Schmieröle entzogen werden. Danach verbleibt Bitumen als nicht mehr wirtschaftlich weiter aufbereiter Destillationsrückstand.“ [8 S. 9]

Abbildung 7: Schematische Darstellung Bitumenherstellung [22]



7.1.2 Bitumenarten

Die Einteilung von Bitumen kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen. Neben der Unterteilung nach den Herstellungsverfahren wird am häufigsten die Einteilung nach den Penetrationsklassen gewählt.

7.1.2.1 Destillationsbitumen

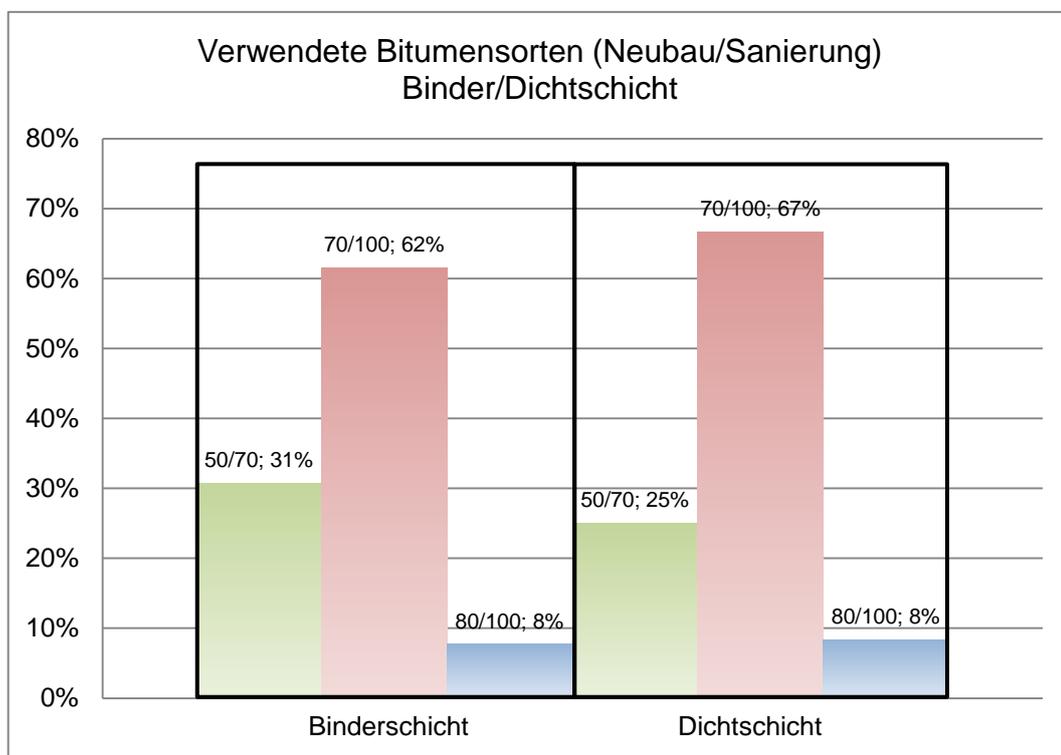
„Sie sind das Bodenprodukt der Rohöldestillation, wobei dem Einsatzprodukt unter Anwendung von Vakuum bei Temperaturen von 360 °C bis 380 °C leichte bis hochsiedende Ölfractionen entzogen werden. Ihre Härte wird mittels einer Nadelpenetrationsmessung bei 25 °C unterschieden. Daraus ist auch die Sortenkennzeichnung abgeleitet worden, die nach den mittleren Werten der Penetrationsklassen erfolgt. Hohe Penetrationskennwerte kennzeichnen weiche Produkte, niedrige Werte harte Produkte.“ S.90 [6] Im Wasserbau kommt Destillationsbitumen am häufigsten zum Einsatz. Das gewonnene Bitumen hat eine viskoelastische Konsistenz. Diese Eigenschaft ist temperaturabhängig

und somit kann man durch Variation dieser die Eigenschaften des Bitumens fast beliebig verändern.

„Der Penetrationswert ist jener Wert, in 1/10 mm, um den eine mit 100 g belastete Nadel bei 25 °C in 5 Sekunden in das Bitumen eindringt.“ [9]

Im Wasserbau kommen die Bitumensorten B 50/70 und B 70/100 am häufigsten zum Einsatz. B 30/45 und B 160/200 werden selten verwendet, für Sonderbauten ist die Verwendung anderer Bitumen möglich.

Diagramm 4: Im Wasserbau häufig verwendete Bitumensorten



Die Daten für das Diagramm 4 wurden der Tabelle 7 entnommen.

Tabelle 7: Bitumensorten Neubau/Sanierung

| | Binder- schicht | Dicht- schicht | Jahr (Fertigstellung) |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Neubau Speicherbecken | | | |
| Zauchensee AUT | 50/70 | 50/70 | 2006 |
| Goldisthal D | 70/100 | 70/100 | 2002 |
| Avce SLO | 70/100 | 70/100 | 2008 |
| Al Khadra Libyen | - | - | - |
| Tianhuangping China | 80/100 | 80/100 | 1997 |
| Neubau Speicherdämme | | | |
| Yalde E | 50/70 | 50/70 | 2002 |
| Midlands Damm Mauritius | - | - | 2002 |
| Goldisthal D | - | - | 2001 |
| Arcichiaro IT | 50/70 | 50/70 | 2001 |
| Zirmsee AUT | 70/100 | 70/100 | 1982 |
| Sanierung Speicherbecken | | | |
| Zarnowiec PL | - | 70/100 | 2006 |
| Erzhausen D | - | - | 1998 |
| Wag AUT | 70/100 | 70/100 | 2011 |
| Brandstatt AUT | 70/100 | 70/100 | 2010 |
| Haselstein AUT | 70/100 | PmB 45/80-65 | 2009 |
| Sanierung Speicherdämme | | | |
| Innerste D | | | 2004 |
| Wahnbach D | 50/70 | olex 65 | 2008 |
| Feldsee AUT | 70/100 | 70/100 PmB 45/80 - 65 | 2008 |
| Dießbach | 70/100 Plus | 70/100 PmB 45/80 - 65 | 2010 |

7.1.2.2 Hochvakuumbitumen

„Sie entstehen aus Destillationsbitumen, wenn durch Anwendung besonders guter Vakuumbedingungen weitere, hochsiedende Ölfractionen herausdestilliert werden. Die Kennzeichnung dieser Bitumen erfolgt nach den Grenzwerten der Erweichungspunktspannen.“ S.90 [6]

7.1.2.3 Oxidationsbitumen

„Durch Behandlung von Destillationsbitumen unterschiedlicher Härte mit Luft bei Temperaturen von 230 °C bis 260 °C lassen sich die Eigenschaften der Bitumen in Richtung geringerer Temperaturempfindlichkeit beeinflussen. Die Kennzeichnung derartiger Bitumen erfolgt nach den mittleren Spannweiten der Grenzwerte für Erweichungspunkt und Nadelpenetration.“ S.90 [6]

7.1.2.4 Polymermodifiziertes Bitumen (PmB)

„Durch den Zusatz von natürlichen oder synthetischen Polymeren zu Destillationsbitumen mit teilweiser anschließender chemischer Vernetzung entstehen Polymermodifizierte Bitumen mit vorbestimmter Beeinflussung der Bindemittelkennwerte. Durch geeignete Auswahl der Einsatzprodukte können für den jeweiligen Einsatzzweck optimierte Produkteigenschaften erhalten werden.“ S. 91 [6] Die Zugabe an organischen Polymeren liegt im Normalfall zwischen 3 bis 6 M.-%. Durch die Zugabe bilden sich netzartige Strukturen in der Molekularebene ähnlich wie bei den Asphaltene, dies erhöht im speziellen im hohen Temperaturbereich die Strukturviskosität des Bitumens. Für den Bereich des Wasserbaus sind spezielle Lieferbedingungen nach diversen ÖNORMEN einzuhalten. Polymermodifiziertes Bitumen gewinnt immer mehr an Bedeutung, deshalb wird es im Kapitel 7.2 genau behandelt.

7.1.3 Alterung des Bitumens

Alle Alterungsformen von Bitumen während des gesamten Lebenszyklus sind irreversibel und wirken sich negativ auf die Gebrauchstauglichkeit aus. Das Bitumen wird zunehmend spröder und härter. Die Hauptverursacher der Bitumenalterung sind Temperatur, Luftsauerstoff, Wasser, mechanische Belastung und die Sonneneinstrahlung (UV-Licht).

In Abhängigkeit der Eindringtiefe lassen sich drei Gruppen im Asphaltbeton unterscheiden, welche in Tabelle 8 dargestellt sind.

Tabelle 8: Reale Alterungsbelastungen während der Liegezeit von Asphaltbetonaufbauten [10]

| Oberflächennah | Mehrere Zentimeter | Gesamter Asphaltbau |
|-------------------------------|--|---|
| UV Strahlung Mineralstäube | Gasförmige Oxidationsmittel: NOX – Stickoxide O ₃ – Ozon OH - Radikale | Flüssige Oxidationsmittel: HNO ₂ – salpetrige Säure H ₂ SO ₄ – Schwefelsäure H ₂ O ₂ - Wasserstoffperoxid |

Durch diese Prozesse kann gealtertes Bitumen auch nicht beliebig als Recyclingstoff eingesetzt werden. Die Alterung des Bitumens wird in drei Alterungsprozesse unterschieden:

1. Verdunstungsalterung (destillative Alterung): Durch thermische Destillationsvorgänge werden leichtflüchtige Ölanteile verdampft, dies ist ein rein physikalischer Vorgang. Mit zunehmender Bitumenhärte nimmt die Neigung zu diesem Prozess ab. Der Grad der Bitumenalterung hängt dabei von der Bitumensorte, der Temperatur und der spezifischen Oberfläche ab.
2. Oxidative Alterung: Hierbei handelt es sich um einen chemischen Vorgang, welcher durch den Luftsauerstoff, Ozon, Radikalen und in Wasser gelösten OH⁻ Molekülen hervorgerufen wird. Die Geschwindigkeit und das Ausmaß der Oxidation hängt von der Temperatur, der spezifischen Oberfläche, der Luftzutrittsmöglichkeit und der UV-Strahlung ab. Je höher die Temperatur, spezifische Oberfläche und Intensität der UV – Strahlung, desto schneller verläuft die Oxidation. Die Eindringtiefe der UV – Strahlung ist mit 5 µm nur auf die Oberfläche begrenzt. Es kann jedoch wie bereits erwähnt, zur Bildung von Radikalen führen, die in tiefere

Schichten eindringen. Ohne Luftzutrittsmöglichkeit und damit verbunden ohne Sauerstoff kann keine Oxidation stattfinden. [11]

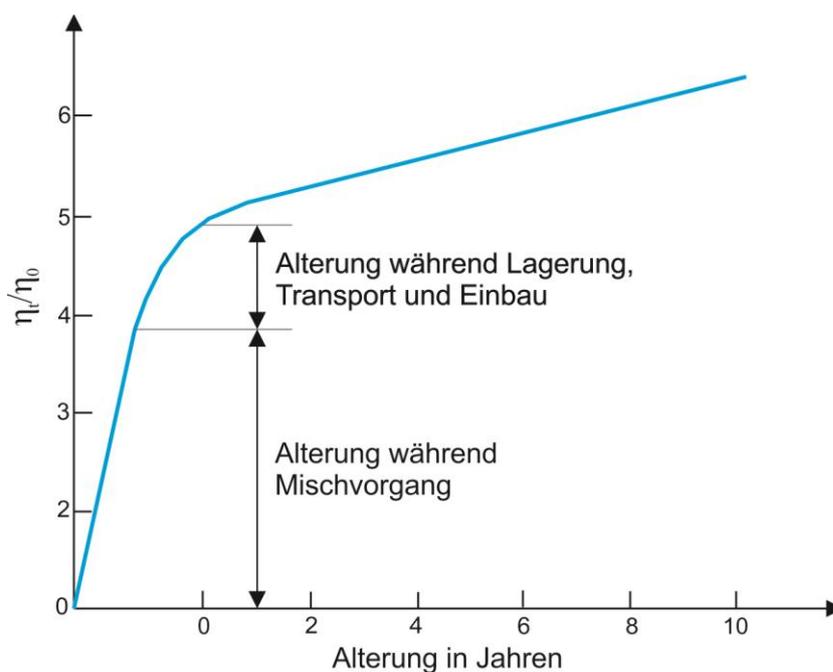
3. Strukturalterung: Die Vergrößerung von Asphaltene und Erdölharzen wird als Strukturalterung bezeichnet.
4. Degeneration von Molekülkolloide des verwendeten Polymers: Dieses Problem ist bei PmB zu berücksichtigen. Durch die Alterung werden die langkettigen Polymere immer kürzer und verlieren ihre vernetzenden Eigenschaften. Durch chemische Vorgänge kann es auch zu einer Abstoßungsreaktion zwischen Bitumen und Polymer kommen. Diese Vorgänge sind wissenschaftlich Gegenstand der Forschung. [12]
5. Alterung des Bitumens durch Mischen und den Einbau

7.1.3.1 Alterungsstufen des Bitumens

Bitumen durchläuft während seines Lebenszykluses drei Alterungsstufen.

1. Ungealtert: Gebrauchsfertiges Bitumen aus der Raffinerie
2. Kurzzeitgealtert: Umfasst alle Vorgänge von der Lieferung bis zum Einbau (Simulation im Labor mit RTFOT siehe 10.1.3.1)
3. Langzeitgealtert: Die Langzeitalterung beschreibt den Zeitraum von 5 bis 10 Jahren und beinhaltet die Kurzzeitalterung

Abbildung 8: Schematischer Verlauf Bitumenalterung



In Abbildung 8 ist die idealisierte Bitumenalterung über die Zeit ersichtlich. Die Kurve wird in der Realität wie bereits erwähnt von einer Vielzahl von Eigenschaften wie der Bitumensorte, der Verarbeitung sowie Umwelteinflüssen etc. beeinflusst.

7.1.4 Bitumeneigenschaften

Für die Eigenschaften des Bitumens sind im wesentlichen das kolloiden System sowie die chemischen Bestandteile ausschlaggebend. Bei Abkühlung oder Erwärmung ändert sich die Struktur des Bitumens (Sol- und Gelzustand) aufgrund der Bildung und Lösung der Micellen. Mit diesem Mechanismus werden die stark temperaturabhängigen Eigenschaften begründet.

7.1.4.1 Thermoviskoses Verhalten

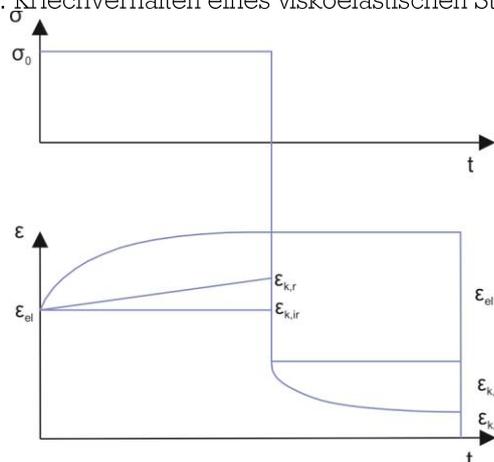
Dieses Verhalten ist der Grund, dass Bitumen so gut zum verarbeiten hinsichtlich Pumpen, Spritzen, Mischen, Einbau und Verdichten geeignet ist. Verwendete Temperaturen sind von der Bitumensorte sowie vom Arbeitsschritt abhängig (siehe Diagramm 8). Nach Abkühlen auf die Temperatur für die endgültige Nutzung hat das Bitumen seine erforderliche Konsistenz für die Belastung erreicht.

7.1.4.2 Viskoelastisches Verhalten

„Die Steifigkeit eines Bitumens hängt in erster Linie von seiner Härte, also von seiner Viskosität, die sich in der Bitumensorte ausdrückt und grundsätzlich temperaturabhängig ist, ab. Je weicher das Bitumen, desto größer ist der viskose Anteil.“ [13 S. 756]

Der Verformungswiderstand des Bitumens ändert sich mit der Zeitdauer der Belastung und der Temperatur. Bei kurzen Belastungen überwiegt der elastische Verformungsanteil und nach Entlastung bildet sich das Bitumen zurück. Bei längeren Belastungen überwiegt der viskose Anteil und die Verformung ist irreversibel. Unter Kriechen versteht man die Verformungszunahme bei Belastungen über einen längeren Zeitraum.

Abbildung 9: Kriechverhalten eines viskoelastischen Stoffes (Bitumen)



Die Kriechzahl beschreibt das Verhältnis der Dehnung zufolge Kriechen zur elastischen Dehnung.

$$\varphi_t = \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_{el}}$$

Die Belastungen im Wasserbau sind meist über längere Zeiträume, daher muss hier die Gesamte Dehnung berücksichtigt werden.

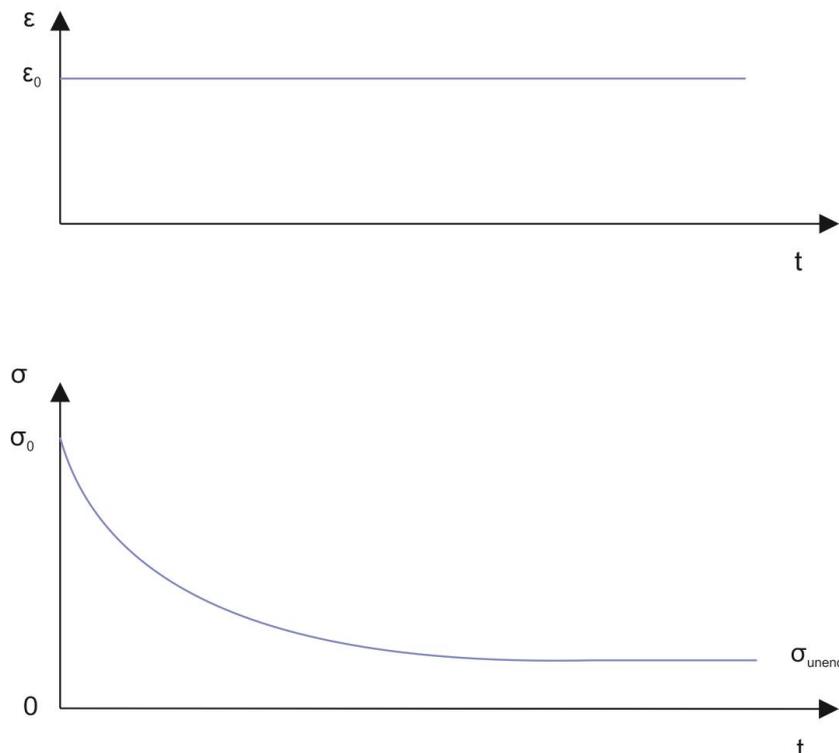
$$\varepsilon_{t,ges} = \varepsilon_{el} + \varepsilon_k = \varepsilon_{el} + \varphi_t \cdot \varepsilon_{el} = \frac{\sigma}{E} \cdot (1 + \varphi_t)$$

7.1.4.3 Relaxationsvermögen

„Relaxation ist das Vermögen eines Werkstoffes, sich aufgrund seines elasto-viskosen Verhaltens einer aufgezwungenen Beanspruchung durch viskose Verformungen zu entziehen. Der Spannungsabbau erfolgt dabei nicht spontan, sondern zeitabhängig. Die Geschwindigkeit, mit der die Beanspruchung abklingt, hängt von der Viskosität des Bitumens ab. Je weicher das Bitumen, desto schneller erfolgt der Spannungsabbau.“
[13 S. 756]

Die Relaxation ist stark von der Temperatur abhängig. Mit sinkenden Temperaturen nimmt das Relaxationsvermögen ab.

Abbildung 10: Relaxation eines viskoelastischen Stoffes



7.1.4.4 Steifigkeit – Steifigkeitsmodul

Bei idealisierter Betrachtung kann das Fließen des Bitumen bei tiefen Temperaturen als rein elastisch und bei hohen Temperaturen als rein viskos angesehen werden. Der relevante Bereich für die Beurteilung liegt dazwischen. In diesem Bereich wird die Viskosität von der Schubspannung beeinflusst. Durch dieses Verhalten ist es nötig das Bitumen viskoelastisch zu betrachten. Der Steifigkeitsmodul beschreibt das zeit- und temperaturabhängige Verhalten von Bitumen. Die Steifigkeit von Asphaltbeton korreliert mit der Bitumensteifigkeit. Die Bitumensteifigkeit wird aus dem Penetrationsindex, dem Erweichungspunkt RuK und der Belastungsdauer im Heukelom Diagramm ermittelt.

7.1.4.5 Kriechverhalten von Bitumen

Mit Hilfe des BBR – Versuchs kann man so genannte Kriechkurven erstellen wobei die Durchbiegung über die Zeit dargestellt wird. Im Diagramm 5 sind Kriechkurven des Bitumen 50/70 rein und 50/70 1:1 bei verschiedenen Temperaturen dargestellt (1:1 = Bitumen : Füller). Es ist die starke Abhängigkeit der Durchbiegung von der Temperatur sowie vom Füllergehalt eindeutig erkennbar. Der Füller (Körnung) verleiht dem Gemisch mehr Steifigkeit und reduziert somit die Kriechnachgiebigkeit. Im Diagramm 6 ist die Steifigkeitszunahme mit steigendem Füllergehalt eindeutig ersichtlich. [14] Die Art und Zusammensetzung des Füllers ist in einem geringeren Maße ausschlaggebend wie das Mischungsverhältnis.

Diagramm 5: Kriechkurven B50/70 rein und B 50/70 1:1 [14]

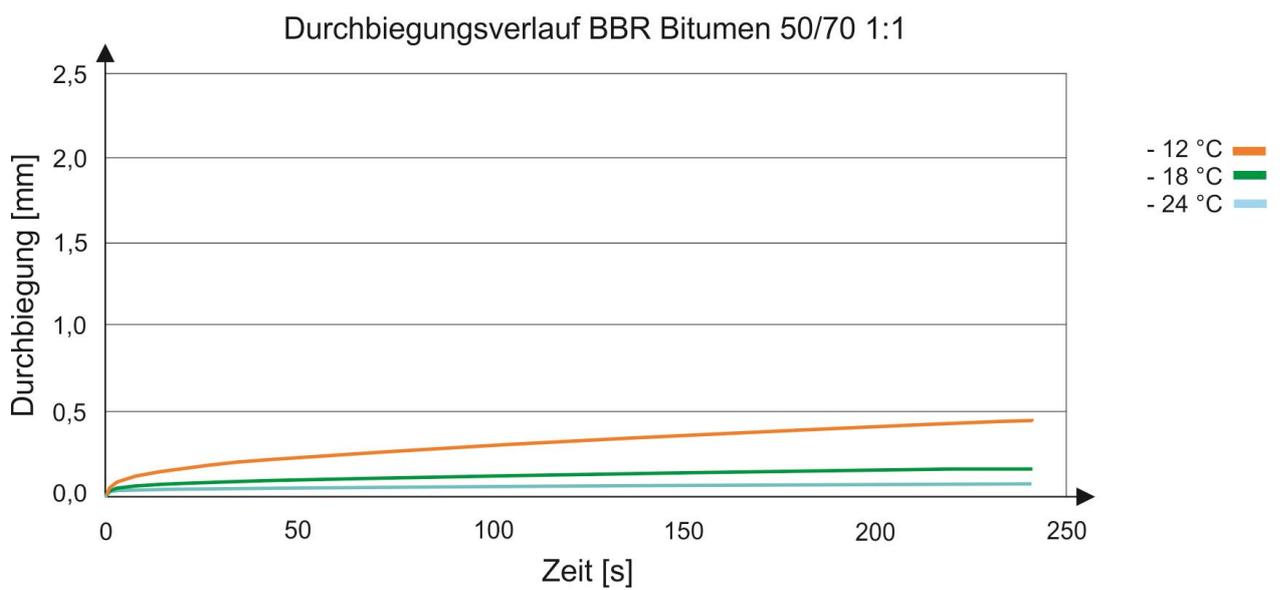
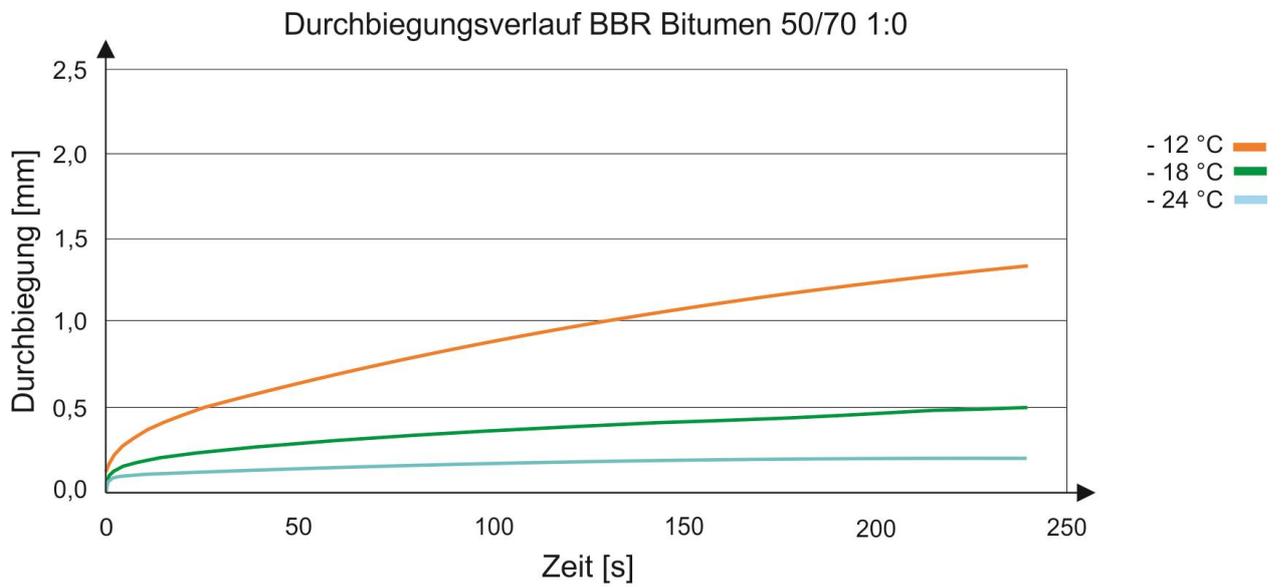
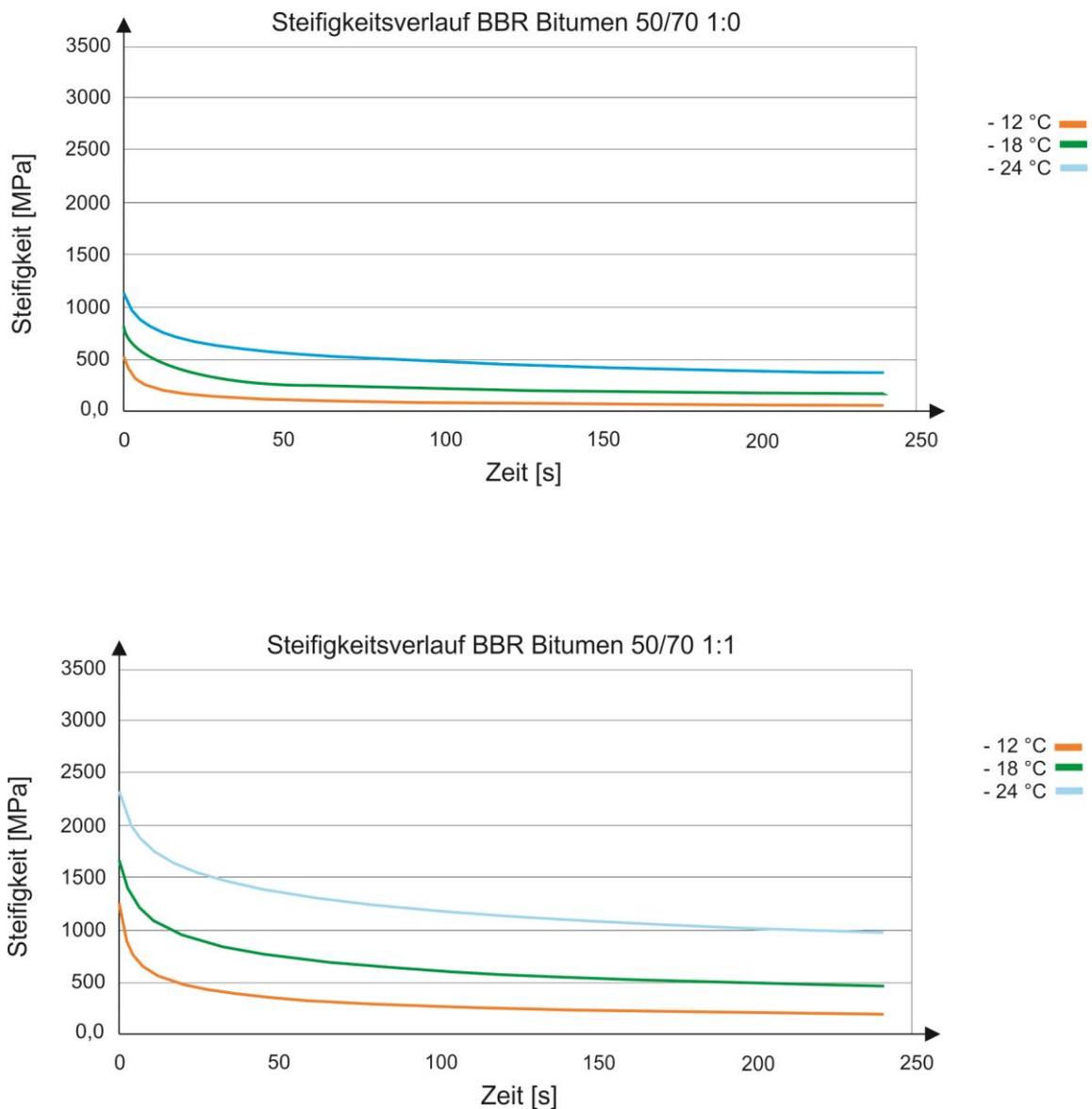


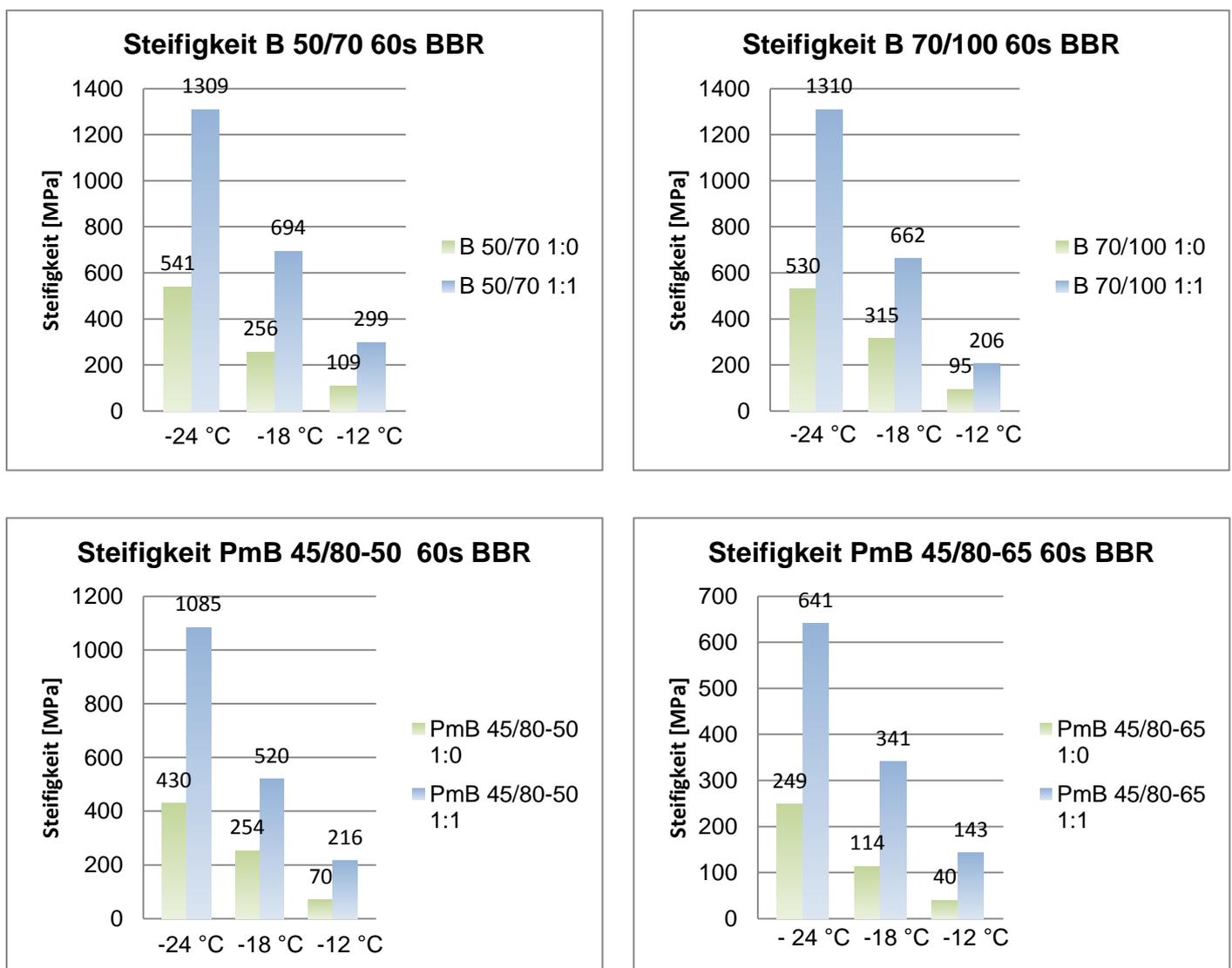
Diagramm 6: Steifigkeitsverlauf B50/70 rein und B50/70 1:1 [14]



Für die Beschreibung des Kriechverhaltens wird neben der Steifigkeit S der m -Wert laut ÖNORM EN 14771 herangezogen, dieser beschreibt den Anstieg der Tangente an der Steifigkeitskurve. Je höher der m -Wert liegt, desto stärker kriecht das Bitumen.

Um den Unterschied von Standardbindemitteln und polymermodifizierten Bindemitteln hinsichtlich der Steifigkeit in Abhängigkeit der Temperatur festzustellen wurden in [14] die Steifigkeitswerte von B 50/70, B 70/100, PmB 45/80-50 und PmB 45/80-65 mit zwei Verhältnissen Bindemittel zu Füller bei 60 s gemessen. Für die gegenwertige Arbeit wurden die Messergebnisse in Diagrammen zusammengestellt, welche jeweils eine Bindemittelsorte mit zwei verschiedenen Verhältnissen Bindemittel zu Füller darstellen. Unabhängig vom Mischverhältnis ist die Abnahme der Steifigkeit mit steigender Temperatur ersichtlich. Gut erkennbar ist die tendenzielle Steigerung der Steifigkeit mit zunehmenden Füllergehalt. Ersichtlich ist die geringere Steifigkeit der polymermodifizierten Bindemittel im Vergleich zu den Standardbindemitteln.

Diagramm 7: Steifigkeit ausgewählter Bindemittel nach 60 s aus BBR* - Versuch



*BBR 60 s siehe 10.1.1.4

7.1.4.6 Dichte und Wärmeausdehnungskoeffizient

Die Dichte nimmt mit steigender Härte zu. Der kubische Wärmeausdehnungskoeffizient liegt zwischen 15 °C und 200 °C bei 0,0006 bis 0,00062. Die Ausdehnung der Gesteinskörnung im Asphaltbeton ist zirka 20 bis 30 mal kleiner als die des Bitumens.

7.1.4.7 Haftverhalten – Affinität (Adhäsion)

Affinität beschreibt die Neigung des Ablösens des Bindemittels von der Gesteinskörnung. Die Prüfung der Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen erfolgt nach ÖNORM EN 12697 – 11.

Der Haftverbund zwischen Gestein (Mineral) und Bitumen ist von dessen Zusammenwirken abhängig. Grundvoraussetzung für einen guten Verbund ist die vollständige Umschließung der Körner mit dem Bindemittel. Das Korn darf keine Trennmittel wie Staub oder Wasser aufweisen, daher ist eine Reinigung sowie Trocknung vor dem Mischen wichtig. Das Wasser besitzt eine größere Affinität als Bitumen zum Gestein. Auch wenn zuvor ein einwandfreier Haftverbund hergestellt wurde kann nachträglicher Wasserzutritt das Bindemittel vom Gestein ablösen (Haftungsverlust).

7.1.4.8 Verhalten gegenüber Wasser

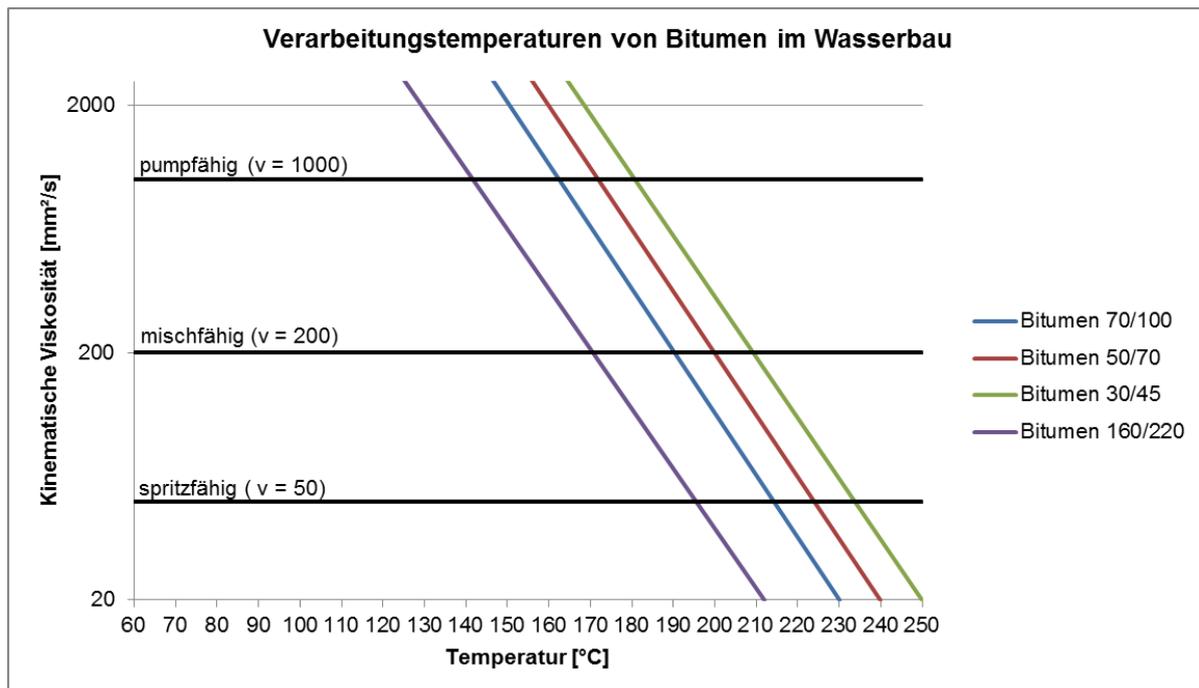
„Bitumen ist in Wasser praktisch unlöslich, und seine Wasseraufnahme ist außerordentlich gering, Bitumen ist praktisch wasserundurchlässig.“ [13 S. 759]

7.1.4.9 Verarbeitbarkeit

Bitumen kann heiß oder kalt verarbeitet werden. Hier wird nur auf die Heißverarbeitung eingegangen, da diese hauptsächlich im Wasserbau zur Anwendung kommt.

Je höher die Temperatur des Bitumens ist, desto weiter verschiebt sich seine Konsistenz in den Aggregatzustand flüssig und umso einfacher wird die Verarbeitung. Der Dampfdruck im Bitumen ist von der Temperatur abhängig, dies bedeutet, umso heißer das Bitumen umso höher der Dampfdruck und umso mehr Bestandteile verdunsten. Folge davon ist eine vorzeitige Versprödung beziehungsweise Alterung und einhergehend eine Verschlechterung des Gebrauchsverhaltens. Heißes Bitumen darf nur auf sauberen und nicht saugfähigen Untergründen ohne Schutzanstrich aufgetragen werden, da ansonsten keine Haftung an den Kapilareingängen erfolgt. Es darf keine zu rasche Abkühlung aufgrund von Temperaturunterschieden zwischen Bitumen und Untergrund erfolgen (Haftungsverlust). Diagramm 8 stellt Viskosität und Temperatur diverser im Wasserbau verwendeter Bitumen dar.

Diagramm 8: Verarbeitungstemperaturen von Bitumen im Wasserbau



7.1.5 Anforderungen an Bitumen im Wasserbau

Die Qualitätsanforderungen an Bitumen sind teilweise in Österreich, Deutschland und der Schweiz unterschiedlich. Abhängig von der Herkunft können die Bitumen den ortsabhängigen Anforderungen entsprechen aber dabei unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. „Es ist Aufgabe des Auftragnehmers im Zuge der Eignungsprüfung die für das Projekt optimale Bindemittelsorte auszuwählen, so dass das fertige Dichtungssystem die verlangten Eigenschaften hat. Der Bezugsort des Bitumens soll dem Auftragnehmer freigestellt werden. Er hat aber vor Beginn dem Auftraggeber schriftlich den Namen des Lieferanten bekanntzugeben und den Nachweis zu erbringen, dass die nachfolgenden Vorschriften erfüllt sind. Eine Änderung des Lieferanten oder der Raffinerie ist dem Auftraggeber im Voraus bekannt zu geben.“ [1 S. 32]

Grundsätzlich sind folgende allgemeine Kriterien für die Eignung einer Bitumensorte maßgebend [1]:

1. Viskosität: Bei der höchst vorkommenden Dichtungstemperatur die im Wasserbau allgemein mit +70°C angenommen wird, sollte die Viskosität nicht zu gering sein.
2. Steifigkeit: Bei tiefen Wassertemperaturen sollte die Steifigkeit, d.h. das Verhältnis zwischen Spannung und Verformung nicht zu groß sein, damit bei Setzungen kein spröder Bruch eintritt. Unter Wasser ist die Wintertemperatur mit

zirka 0°C, über Wasser je nach örtlichen Verhältnissen bis -30°C und darunter zu erwarten.

3. Erhärtung des Bitumens: Während der Verarbeitung des Asphaltmischgutes und nach dessen Einbau härten die Bitumen nach. Im Hinblick auf die Haltbarkeit eines Asphaltbelages sind Bitumen mit geringerer Endhärte solchen mit größerer Endhärte vorzuziehen.
4. Affinität/Bitumen: Das Bitumen muss eine gute Affinität zu den ausgewählten Gesteinskörnungen aufweisen und mit ausreichender Haftfestigkeit an diesen haften.

In Tabelle 9 sind die Qualitätsanforderungen und die Prüfverfahren an Erdölbitumen im Wasserbau aufgelistet.

Tabelle 9: Anforderungen an Erdölbitumen für den Wasserbau aus [1]

| Prüfnorm | Prüfung | B 160/200*** | B 70/100 | B 50/70 | B 30/45*** |
|----------------------------------|---|--------------|---|---|------------|
| ÖNORM EN 1426 | Penetration bei 25°C, (mm/10) | 160 - 210 | 80 – 100 | 50 – 80 | 35 – 50 |
| ÖNORM EN 1427 | Erweichungspunkt Ring und Kugel (°C) | 37 – 44 | 42 – 49 | 47 – 54 | 52 – 59 |
| ÖNORM EN 1427 | Penetrationsindex, höchstens | + 0,5 | + 0,5 | + 0,5 | +0,5 |
| ÖNORM EN 12593 | Brechpunktnach Fraaß, höchstens(°C) | -15 | -10 | -10 | -6 |
| EN 13589 | Kraftduktilität bei 10° (cm) | Anzugeben | | | |
| ÖNORMEN 12606-Teil 1 und 2 | Paraffingehalt, max.(Masse %) durch Lieferanten anzu- geben | - | 2 | 2 | - |
| EN ISO 3838 | Dichte (25 ^U /25 ^U Dichteverhältnis zu Wasser) | - | 1 – 1,04 | 1 – 1,04 | - |
| ÖNORM EN 12607-1 | Erhitzungsprüfung im Rotationsverdampfer (165°C, Einwaage 100 g Bitumen)* in Luft | | | | |
| | 1. Masseverlust max. (Masse %) | - | 0,8** | 0,5** | - |
| | 2. Verbleibende Penetration (mm/10) | anzugeben | mind.70 % vom Aus- gangswert, mind. 70** | mind.70 % vom Aus- gangswert, mind. 50** | anzugeben |
| ÖNORM EN 1426 | 3. Zunahme Er- weichungspunkt Ring und Kugel höchstens (°C) | * | 6 | 5 | * |

* Es können darüber hinausgehende Prüfbedingungen, wie z.B. Prüftemperatur 190° oder Einwaage 50g vereinbart werden.

** Abweichung zu NORM, Anforderung hat besondere Bedeutung für Lebensdauer

*** Diese Bindemittelsorten werden nicht für den Dichtungsbau verwendet, sondern kommen gegebenenfalls bei Nebenkonstruktionen zum Einsatz

7.2 Polymermodifiziertes Bitumen

Eine neuere Entwicklung stellen sogenannten „Polymermodifizierten Bitumen“ (Abkürzung PmB) dar. Unter diesen Begriff werden Mischungen oder Reaktionsgruppen aus Polymeren und Bitumen verstanden. Der Gedanke hinter PmB ist, Bitumen zu erschaffen welche genau definierten Anforderungen entsprechen. Im Endprodukt liegen die zugegebenen polymere fein verteilt und vernetzt vor. Bei der Mischung von Bitumen und Polymeren bilden beim PmB die Bitumen meist die kontinuierliche Phase. Die Eigenschaften des Endproduktes sind zum einen von den Polymer- beziehungsweise Bitumensorten und zum anderen von der Homogenität des Stoffgemisches abhängig. Aus diesem Grund ist es von hoher Bedeutung die Polymere möglichst homogen und fein im Bitumen zu verteilen und den hohen Homogenisierungsgrad bis zum Einbau aufrecht zu halten. Die Herstellung von PmB erfolgt nicht vor Ort, sondern wird im Werk hergestellt. Hierzu werden die Polymere im Homogenisator fein verteilt. Im Basisbitumen werden leicht lösliche Polymere mit niedrigem Molekulargewicht homogen verteilt und dann in speziellen Reaktoren unter speziellen Reaktionsbedingungen polymerisiert und mit dem Basisbitumen fein vernetzt. Durch diesen Vorgang können PmB hergestellt werden welche eine besonders gute Lagerfähigkeit erzielen. Die feine Vernetzung bewirkt auch ein verbessertes Verhalten im Bereich des Wärme- und Kälteverhaltens. Bei den Polymeren wird zwischen Elastomeren und Plastomeren unterschieden. Die Elastomere begünstigen hauptsächlich das wie Wärme- und Kälteverhalten sowie die Heißlagerbeständigkeit. Im Gegensatz dazu beeinflussen die Plastomere hauptsächlich das Hochtemperaturverhalten, diese PmB weisen einen starken entmischungsdrang auf und sind daher schlecht Heißlagerbeständig. Um die Nachteile der beschränkten Lagerung gering zu halten, sollten diese Sorten erst kurz vor der Verwendung hergestellt und vor dem Einbau nachhomogenisiert werden.

Typische Polymere aus der Gruppe der Thermoplaste und Elastomere [12]

- | | |
|------------|---|
| 1. PE | Polyethylen |
| 2. PP | Polypropylen |
| 3. SBR/SBS | Styren-Butadien-Kautschuk/ Styren-Butadien-Styren |
| 4. EPDM | Ethylenvinylacetat |
| 5. EVM | Ethylenvinylacetat |
| 6. ACM | Acrylester-Kautschuk |

7.2.1 Einteilung von PmB

Die Einteilung von PmB erfolgt im Wasserbau analog zum Straßenbau, es sind aber diverse Anforderungen im Wasserbau strenger (siehe 7.2.3). Tabelle 10 gibt eine Übersicht über die Einteilung.

PmB 45/80 – 50 A

PmB Polymermodifiziertes Bitumen

45/80 Nadelpenetration in 1/10 mm

50 Erweichungspunkt Ring und Kugel

A Art der Polymermodifizierung

Tabelle 10: Bezeichnung von PmB [15 S. 96]

| Alte Bezeichnung | PmB 130 A | PmB 65 A | PmB 45 A | PmB 25 A | PmB 40/10 0-65 | | | |
|--|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Neue Bezeichnung | 120/ 200- 40A | 45/ 80- 50A | 25/ 55- 55A | 10/ 40- 65A | 40/ 100- 65A | 45/ 80- 50C | 25/ 55- 55C | 10/ 40- 65C |
| Nadelpenetration in 1/10 mm | 120- 200 | 45-80 | 25-55 | 10-40 | 40-100 | 48-80 | 25- 55 | 10-40 |
| EP RuK in °C | ≥ 40 | ≥ 50 | ≥ 55 | ≥ 65 | ≥ 65 | ≥ 50 | ≥ 55 | ≥ 65 |
| Brechpunkt in °C | ≤ -20 | ≤ -15 | ≤ -10 | ≤ -5 | ≤ -15 | ≤ -10 | ≤ -5 | ≤ -15 |
| Kraftduktilität in J/cm ² | ≥ 2 | ≥ 2 | ≥ 3 | ≥ 2 | ≥ 3 | ≥ 2 | ≥ 3 | ≥ 2 |
| Elastische Rückstellung bei 25 °C in % | ≥ 50 | ≥ 50 | ≥ 50 | ≥ 50 | ≥ 70 | NR | NR | NR |
| Biegebalkenrheometerwert bei -16 °C in MPa | 200 | 250 | 300 | 350 | 250 | 300 | 300 | 200 |

A... elastomermodifizierte Bitumen

C... thermoplastmodifizierte Bitumen

7.2.2 Verarbeitbarkeit

PmB wird heiß angeliefert und bei Temperaturen zwischen 150 °C und 170°C vor Ort in Tanks gelagert. Grundsätzlich sollte das Bitumen sehr kurzen Lagerzeiten ausgesetzt werden, da ansonsten die Gefahr des entmischen besteht. Der Widerstand gegen den Entmischungsvorgang wird im „Tubentest“ simuliert. Hier ist anzuführen, dass die Lagerbeständigkeit von PmB welche mit Elastomeren oder Plastomeren polymerisiert wurden starke Unterschiede aufweist.

7.2.3 Anforderungen an PmB im Wasserbau

Für „Polymermodifizierte Bitumen“ stellt die EN 14023, Nationale Umsetzung ÖNORM B 3613: (2011) die Basis dar.

Um PmB vollständig zu prüfen wurden die Bitumenprüfungen um die Prüfung der Heißlagerung und der elastischen Rückstellung erweitert.

In Tabelle 11 können die Anforderungen an polymermodifizierte Bitumen im Wasserbau entnommen werden. Da noch keine längeren Erfahrungen mit dieser Art von Bitumen gemacht wurden sind die Werte als Richtwerte anzusehen.

Tabelle 11: Anforderungen an polymermodifiziertes Bitumen für den Wasserbau aus [1].

| Prüfung Bezeichnung | Prüfverfahren | PmB 45/80 - 65 | PmB 45/80 - 50 |
|---|---------------------|----------------|----------------|
| Penetration bei 25° (1/10 mm) | EN 1426 | 45 - 80 | 45 - 80 |
| Mittlere Verarbeitungstemperatur | | | |
| Erweichungspunkt* (° C) | EN 1427 | ≥ 65 | ≥ 60 |
| Erhöhte Verarbeitungstemperatur | | | |
| Kraft-Duktilität bei 5°C (J/cm ²), EN 13703 | EN 13589 | ≥ 1 | ≥ 1 |
| Verbleibende Penetration*, RTFOT (%), nach EN 12607-1 | EN 1426 | ≥ 60* | ≥ 60* |
| Elastische Rückstellung* bei 25° (%) | EN 13398 | ≥ 70 | ≥ 60 |
| Flammpunkt (° C) | EN ISO 2592 | ≥ 250 | ≥ 250 |
| Brechpunkt Fraaß* (° C) | EN 12593 | ≤ -10 | ≤ -10 |
| Lagerbeständigkeit, Differenz der Erweichungspunkte, (° C) | EN 13399 EN 1427 | ≤ 5 | ≤ 5 |
| Lagerbeständigkeit, Differenz der Penetration, (1/10 mm)*** | EN 1426 | ≤ 20 | ≤ 20 |
| Elastische Rückstellung**, 25°, RTFOT (%), nach EN 12607-1 | EN 13398 | ≥ 70 | ≥ 60 |

* Strengere Anforderung für Asphaltwasserbau

** Im Bedarfsfall nachzuweisen

*** Gemäß DIN EN 14023

7.3 Mineralstoffe

Unter Mineralstoffen versteht man Gesteine, welche frei von quellfreien Bestandteilen sein müssen und eine gute Affinität in Bezug auf das verwendete Bitumen aufweisen. Die Druckfestigkeit ist von keiner so großen Bedeutung wie im Straßenbau, da bei den Dichtungen keine derart hohen Spannungen auftreten. In Verwendung sind Füller < 0,09 mm, Brech- und Natursande 0,09 bis 2 mm sowie Kiese 2 bis 4 mm, 4 bis 8 mm, 8 bis 11 mm, 11 bis 16 mm für Dichtschichten und gegebenenfalls 16 bis 32 mm für Dränschichten. Da bei den Dichtungen die Wasserundurchlässigkeit im Vordergrund steht, wird das Größtkorn meistens kleiner gewählt als im Straßenbau. Dies hat den Hintergrund, dass Entmischungerscheinungen minimiert werden müssen um die Dichtheit zu gewährleisten. Der Feinsand- und Fülleranteil ist normalerweise höher als im Straßenbau. Meist sind die Walzen für die Verdichtung auch gewichtsmäßig beschränkt, daher muss das Material einen guten Verdichtungswillen aufweisen.

7.3.1 Gesteinskörnungen

Für Dichtungen auf Böschungen, deren Standfestigkeit während und nach der Herstellung von der inneren Reibung des Korngerüsts abhängt, ist kantiges oder gebrochenes Material mit möglichst rauer Oberfläche erforderlich. Auf flachen Böschungen (Beckensohle oder bei Innendichtungen) ist die innere Reibung der Zuschlagstoffe nicht maßgebend. Die Eignungsprüfung soll sich nicht nur auf die grundsätzliche Verwendbarkeit der Körnungen beziehen, sondern auch festlegen inwieweit Rundkorn verwendet werden kann.

Grundsätzlich gilt:

- Für Tragschichten bis zu einer Neigung von zirka 1:3 kann auf gebrochenes Korn verzichtet werden.
- Mit zunehmender Neigung sollte ein höherer Anteil an gebrochenem Korn verwendet werden.
- Für Dichtschichten müssen grundsätzlich gebrochene Mineralstoffe, mit Ausnahme von Natursand zur besseren Verarbeitbarkeit, verwendet werden.

7.3.2 Kies (Splitt, Naturkies)

Splitt bezeichnet künstlich gebrochene Mineralstoffe im Korngrößenbereich 2 bis 32 mm Maschenweite.

Folgende Körnungen sind im Asphaltwasserbau üblich:

Tabelle 12: Körnungen Asphaltwasserbau

| | | | | | |
|--------------|----------|----------|-----------|------------|------------|
| Splitt | 2 - 4 mm | 4 - 8 mm | 8 - 11 mm | 11 - 16 mm | 16 - 22 m |
| Naturkiese * | 2 - 4 mm | 4 - 8 mm | 8 - 12 mm | 12 - 16 mm | 16 - 25 mm |

* nicht für Dichtschichten an Böschungen

Parameter die bei der Verwendung von Körnungen einzuhalten sind [1]:

- Unterkorn maximal 15 Gewichtsprozent (Gew.%) und Überkorn maximal 10 Gew.%
- Gesamtsieblinie muss im Toleranzbereich der Sieblinie der Eingangsprüfung liegen
- Körnung darf maximal 20 Gew. % längliche und plattige Körner enthalten (Länge/Dicke größer 3:1)
- Affinität Zuschlagsstoffe Bitumen (min. 80% der Oberfläche)
- Feinanteil unter 0,063 mm soll kleiner als 1 Gew. % sein
- Organische Bestandteile und Wasseraufnahme $\leq 0,5$ Gew. %
- Abriebfestigkeit im Los Angeles Test (500 Umdrehungen) ≤ 40 % Verlust
- Beständigkeit gegen Hitze und Frost ist zu ermitteln
- Anteil an Mineralien mit schlechter Affinität und ungünstigen Quellverhalten sind zu bestimmen

7.3.3 Sand

Unter Sand versteht man Gesteinskörnungen zwischen 0,063 mm und 2,0 mm Maschenweite.

Parameter die bei Sanden einzuhalten sind [1]:

- Anteil an Überkorn über 2,0 mm maximal 15 Gew.%, der Anteil kleiner als 0,063 mm darf bei natürlichen Sanden sowie gewaschenen oder entstaubten Brechsanden höchstens 10 Gew.% betragen
- Organische Bestandteile $\leq 0,5$ Gew.%

- Wasseraufnahme ≤ 1 Volumenprozent (Vol.%) und die Affinität zu Bitumen ist zu bestimmen
- Anteil an Mineralien mit schlechter Affinität und ungünstigen Quellverhalten sind zu bestimmen
- Beständigkeit gegen Hitze und Frost ist zu ermitteln

7.3.4 Füller

Unter Füller versteht man Gesteinskörnungen unter 0,063 mm Maschenweite. Dieser füllt die feinsten Poren im Mineralmischgut aus und verbessert somit auch die mechanischen Eigenschaften des Asphalts. Die Optimierung des Fülleranteils am Gesamtmischgut ist sehr wichtig.

Als Füller werden häufig gemahlene Steinmehle (Fremdfüller) aus mineralisch gesundem Gestein verwendet – meist aus Kalk oder Dolomit – oder Eigenfüller, die beim Trocknen der Mineralstoffe aus dem Entstauber anfallen. Bei Korngemischen darf nur bei der Produktion anfallender Eigenfüller verwendet werden und dieser muss gleichmäßig, gewichtsmäßig dosiert, zugegeben werden. Die Menge des im Sand oder Kies enthaltenen und abgesaugten Eigenfüllers schwankt meist beträchtlich und muss bei der Dosierung des Fremdfüllers berücksichtigt werden. Im Asphaltwasserbau ist vom Gesamtfüllgerhalt, d.h. der Summe aus Eigen- und Fremdfüller eine Sedimentationsanalyse zu erstellen.

Merkmale die bei Füllern einzuhalten sind [1]:

- Wassergehalt $\leq 0,5$ %
- Hohlraumgehalt (Rigden Test) ≥ 30 und ≤ 40 vol. %
- Sieblinien bis 0,063 mm ≥ 80 %, 0,125 mm ≥ 90 %
- Petrographie ist zu bestimmen und die organischen Bestandteile müssen nachgewiesen werden
- Nachweis über die versteifende Wirkung und die Quellfreiheit des Füllers ist zu erbringen

7.4 Additive

Unter dem Begriff Additiven werden Zusatzstoffe verstanden mit deren Hilfe die Eigenschaften des Asphaltbetons verändert werden können. Wie bereits zuvor erwähnt ist die Affinität zwischen Bitumen und mineralischen Stoffen ein wichtiger Punkt. Wenn kein geeignetes Material als Zuschlagstoff zur Verfügung steht muss diesem Umstand mit Additiven Rechnung getragen werden. Ein Beispiel dafür sind Granit oder Glimmer, die oft durch eine schlechte Haftung zwischen Bitumen und Gestein gekennzeichnet sind. Hier kommen organische Additive zum Einsatz, welche die Oberflächenspannung des Bitumens herabsetzen und dadurch eine bessere Haftung der beiden Bestandteile ermöglicht. Eine weitere Gruppe von Zusatzmitteln sind Zusatzstoffe zur Erhöhung der Böschungsstabilität eines Mischgutes. Früher kamen hier Asbestfasern zum Einsatz, welche aber mittlerweile auf Grund der Gesundheitsgefährdung verboten sind. Als Ersatz werden heutzutage zum Beispiel Steinwolle, Acrylfasern oder Zellulosefasern eingesetzt.

8 Zusammensetzung von Asphaltbeton für den Wasserbau

Mit der Variation der Masseverhältnisse der einzelnen Bestandteile im Asphaltbeton könne die Eigenschaften dieses Werkstoffes grundlegend beeinflusst werden. Aufgrund der Zusammensetzung muss die Herstellung von verdichtungswilligen und dichten Schichten ermöglicht werden. Für die Verdichtungswilligkeit wird im Kornbereich von 0,063 mm und 2,0 mm rundkörnigem Natursand und scharfkantigen Brechsand eingesetzt. Normalerweise wird ein Verhältnis von 1:1 oder 1/3 zu 2/3 angewandt. Der Brechkornanteil ist für die Stabilität an der Böschung und der Rundkornanteil für die Verarbeitbarkeit ausschlaggebend. Die Mischung der Körnungen ist so zu entwerfen, dass der Hohlraumgehalt zwischen 16% und 19% und darüber liegt. Der hohlraumgehalt wird hauptsächlich durch den Brechsandanteil beeinflusst. Wenn dieser zu gering ausfällt kann sich das Bindemittel nicht ausreichend verteilen und die Körnungen werden nicht ausreichend benetzt. Folge, es ist keine ausreichend stabile, dichte und dauerhafte Schicht gegeben. Je flexibler der Asphaltbeton werden sollte, desto höher ist der benötigte Hohlraum zwischen den Körnungen um ausreichend Platz für das Bindemittel zu schaffen. Der optimale Bindemittelgehalt ist abhängig von der Art der Zuschlagsstoffe, Verarbeitungstemperatur beim Einbau, Schichtdicke, Klima und der angestrebten Dauerhaftigkeit. Durch die Verwendung eines Füllers mit hohem Hohlraumgehalt kann der Bitumenanteil erhöht werden, ohne zu große Verluste bei der Standsicherheit zu erleiden. Es gilt mit der Rezeptur ein ideales Gleichgewicht zwischen Flexibilität und Standfestigkeit zu finden.

8.1 Verschiedene Richtlinien für die Zusammensetzung

Bei der Wahl der Zusammensetzung der Gesteinskörnungen empfiehlt es sich die vorgeschlagenen Grenzwerte einzuhalten, dies haben Langzeitstudien gezeigt. Die Grenzwerte sind für standartmäßige Aufbauten gedacht, jede Mischung muss den spezifischen Anforderungen des Projektes genügen. In Tabelle 13 sind die Empfehlungen der EAAW und des Shell Bitumen HB zusammengefasst. Die Körnungen und das Bitumen sind jeweils in M.% und der Luftporenanteil in Vol. % angegeben.

Tabelle 13: Zusammensetzungen von Asphaltbeton

| Mischung | Körnung | Gesteinskörnung > 2 mm | | Füller < 0,063 mm | | Bitumen | | Luftporenanteil | |
|--------------------|---------|------------------------|-----|-------------------|-----|---------|-----|-----------------|-----|
| | | min | max | min | max | min | max | min | max |
| Asphaltbetondicht. | 0/11 | 20 | 50 | 13 | 17 | 7 | 9 | 0 | 3 |
| Asphaltbetontrag. | 0/16 | 40 | 60 | 5 | 13 | 5,5 | 7 | 0 | 3 |
| Asphaltbetondicht. | 0/11 | 40 | 55 | 11 | 16 | 6,5 | 8 | 0 | 3 |
| Asphaltbetontrag. | 0/16 | 40 | 60 | 9 | 14 | 6 | 7,5 | 0 | 3 |
| Shellbitumen HB | | | | | | | | | |
| EAAW | | | | | | | | | |

8.2 Vergleich von Normkörnungen und Praxis

In den beiden folgenden Diagrammen wird anhand der Dichtung des Speichers Dießbach gezeigt, dass die gewählten Körnungsrezepturen meist in den Bereichen der Empfehlungen liegen oder zumindest sehr nahe daran. In den letzten Jahren zeigte sich, dass das Einhalten der Empfehlungen von großem Vorteil ist. Ebenfalls kann man erkennen, wie nahe die Empfehlungen zusammen liegen (Ähnlichkeit der Kurven).

Diagramm 9: Grenzwerte EAAW 0/16

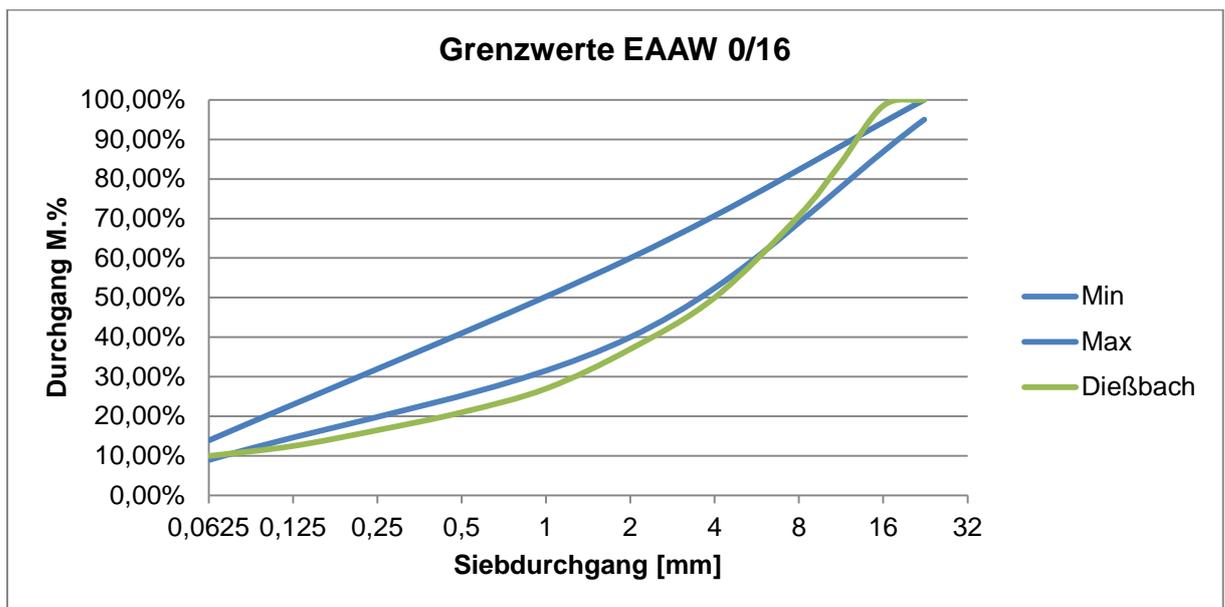
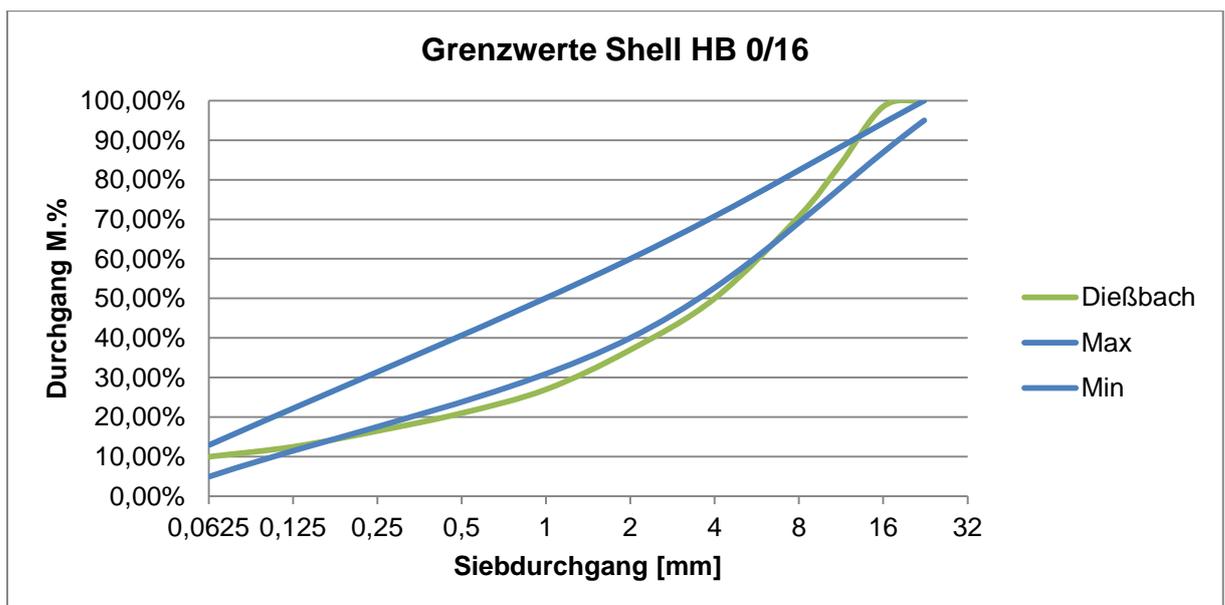


Diagramm 10: Grenzwerte Shell HB 0/16



9 Prüfungen und Prüfverfahren

Im Asphaltwasserbau kommt dem Labor eine große Bedeutung zu, da an die Rohstoffe sowie an die fertigen Produkte hohe Ansprüche gestellt werden. Im Labor wird die Abklärung geeigneter Materialien, Eignungsprüfung und Spezialuntersuchungen durchgeführt, die Produktion und der Einbau werden direkt vor Ort überwacht. Ein Projekt wird laborseitig in drei Arbeitsschritte aufgeteilt

1. Vor der Ausführung: Eignungsprüfung
2. Während der Ausführung: Produktions- und Einbaukontrolle (Eigenüberwachungsprüfungen)
3. Nach der Ausführung: Kontrolle der Beläge auf Dichtheit und Hohlraumgehalt (Kontrollprüfungen)

9.1 Eignungsprüfungen

„Die Eignungsprüfung hat zum Ziel für ein spezielles Projekt optimierte Baustoffe und Baustoffgemische, welche den spezifischen Anforderungen entsprechen, herzustellen. Die Eignungsprüfung ist in der Regel vom Auftragnehmer für die vorgesehenen Baustoffe bzw. Baustoffgemische durchzuführen. Der Eignungsnachweis muss durch Prüfzeugnisse einer akkreditierten und vom Auftraggeber anerkannten Prüfstelle erfolgen und dem Auftraggeber rechtzeitig vor Baubeginn bekannt gegeben werden. Die Ergebnisse der Eignungsprüfung sind dem Auftraggeber vorzulegen. Sollten sich Art der Baustoffe oder der Rezeptur während der Bauausführung ändern, so sind neue Eignungsnachweise durchzuführen. Die Vorlage der Ergebnisse der Eignungsuntersuchungen an den Auftraggeber entbindet den Auftragnehmer nicht von der Eigenverantwortung für die Schaffung eines technischen einwandfreien Gewerks. Der Auftragnehmer nimmt die Ergebnisse des einschlägigen erfahrenen Spezialunternehmers lediglich für spätere Kontrollprüfungen zur vertragsgerechten Lieferung des Gewerks zur Kenntnis.“

Untersuchungsprogramm siehe [1 S. 36]

9.2 Eigenüberwachungsprüfungen

„Eigenüberwachungsprüfungen sind grundsätzlich Prüfungen des Auftragnehmers oder eines Beauftragten zur Ermittlung der Güteeigenschaften von Bau- und Zuschlagsstoffen sowie der fertig gestellten Leistung zur Feststellung der technischen Einwandfreiheit bzw. Vertragskonformität. Art und Umfang der in der Regel im Baustellenlabor durchgeführten Untersuchungen sind vor Baubeginn festzulegen. Grundsätzlich ist je Einbautag oder je 5000 m² Einbau mindestens eine Probe zu untersuchen.“

Untersuchungsprogramm siehe [1 S. 36-37]

9.2.1 Baustellenlabor

Die Eigenüberwachungsprüfungen und Kontrollprüfungen sollten im Baustellenlabor abgewickelt werden. Auf jeder größeren Baustelle sollte ein selbstständiges Labor eingerichtet werden.

9.3 Kontrollprüfung

„Mit den durch den Auftraggeber vorgegebenen und auszuführenden Kontrollprüfungen wird die Güte- und Abnahmeprüfung der fertigen Leistung gemäß den vertraglichen Bestimmungen vorgenommen. Die Probenahme führt der Auftraggeber oder eine beauftragte Versuchsanstalt im Beisein des Auftragnehmers durch. In beiden Fällen ist der Auftraggeber einzubeziehen.“ [1 S. 37]

Untersuchungsprogramm

1. Einbaustärke
2. Korngrößenverteilung und Bitumengehalt
3. Raumdichte, Rohdichte, Hohlraumgehalt
4. Dichtheit und Wasserdruck
5. Penetration und Erweichungspunkt für normales Bitumen bzw. zusätzlich elastische Rückstellung für PmB am extrahierten Bitumen

10 Bitumenprüfungen im Labor

Die Klassifizierung und Beurteilung der Bitumen – Bindemittel erfolgt in Österreich derzeit normgemäß mittel konventioneller Prüfmethode (Penetration, Erweichungspunkt mit Ring und Kugel, Brechpunkt nach Fraß etc.) bei jeweils festgelegten Prüfbedingungen (z.B.: Temperatur etc.). Ein Rückschluss von diesen Prüfwerten auf das tatsächliche Gebrauchsverhalten ist bekanntlich nur über praktische Erfahrungen und Abschätzungen möglich. In Amerika wurden für das Straßenforschungsprogramm SHRP (Strategic Highway Research Program) Prüfmethode entwickelt, welche gebrauchungsverhaltensorientierte Ergebnisse liefern sollten. Bei diesen Tests wird neben dem frischen ungealterten Bitumen auch künstlich gealtertes Bitumen getestet. Durch das künstliche Altern vor den Tests werden alle in der Praxis relevanten Alterungs- und Gebrauchszustände sehr gut abgebildet. Die Alterungszustände werden im Labor mit dem Rolling Thin Film Oven (RTFOT) und dem Pressur Aging Vessel (PAV) Test entsprechend simuliert. Mit diesen beiden Tests soll Heißlagerung, Pumpvorgänge, Mischen im Mischwerk, Transport und Einbau des Mischgutes sowie die Langzeitalterung und Nutzungsbedingungen simuliert werden. Geprüft werden soll dabei jeweils bei Temperaturen, die der Temperatur bei der zu erwartenden Beanspruchung entsprechen. Im Wasserbau wird vorwiegend nur der RTFOT verwendet. Der PAV wird vernachlässigt, da dieser zum Teil die Eigenschaften des künstlich gealterten Bitumen wesentlich stärker als der RTFOT beeinflusst (PAV – starke Abnahme des aromatischen Maltenanteils). Die Zähigkeit des Bitumens für den Mischvorgang muss beschränkt werden, da ansonsten ein zu hoher Energieaufwand für das Mischen und Pumpen entsteht, sowie die vollständige Umhüllung der Gesteinskörnung nicht garantiert werden kann. Diese Eigenschaft wird durch den Messwert der dynamischen Bitumenviskosität (η) beschrieben, welcher mit dem Rotations-Viskosimeter bei 135 °C ermittelt wird.

Die durchzuführenden Prüfungen für Bitumen und PmB sind den Tabellen Anforderungen an Erdölbitumen für den Wasserbau aus [1] und Anforderungen an polymermodifiziertes Bitumen für den Wasserbau aus [1]. zu entnehmen. Da diese Prüfungen dem Stand der Technik entsprechen wird hier nicht auf alle Prüfungen eingegangen. Nachfolgend werden Prüfverfahren erläutert, denen eine große Bedeutung im Wasserbau zukommt.

10.1.1 Prüfverfahren für Heißbitumen in Österreich

Mit Hilfe der konventionellen Prüfmethode kann Bitumen rasch und kostengünstig klassifiziert werden. Für die Klassifizierung sind die Versuche Nadelpenetration und der Erweichungspunkt Ring & Kugel herzuführen. Bei diesen empirischen Prüfmethode ist die Hauptproblematik, dass diese keine Aussagen über physikalische Materialparameter wie Festigkeit und Steifigkeit liefern. Weiters ist zu beachten, dass mit Hilfe dieser Prüfmethode die Belastung im Feld nicht simuliert werden kann.

10.1.1.1 Nadelpenetration nach ÖNORM EN 1426 -15.10.2013

„Konsistenz, ausgedrückt als Wegstrecke in Zehntel-Millimeter, die eine genormte Nadel unter festgelegten Bedingungen von Temperatur, Last und Belastungsdauer senkrecht in einer Probe des zu untersuchenden Materials zurücklegt.“ [16]

Mit Hilfe dieser Prüfung wird die Härte des zu prüfenden Bitumens bestimmt. Hierzu wird die Probe auf 25 °C temperiert und anschließend mit einer 100 g schweren Nadel über 5 Sekunden belastet. Die Nadel dringt in das Bitumen ein. Die Eindringstelle muss mindestens 1 cm von Rand der Probe und einer weiteren Messung entfernt liegen um Fehler in der Messung zu vermeiden. Die Eindringtiefe wird gemessen und wird für die Bitumenklassifikation herangezogen.

Bitumen 50/70

Eindringtiefe der Nadelpenetration liegt zwischen 50 und 70 Zehntelmmillimeter.

Abbildung 11: Versuchsaufbau Nadelpenetration [13]



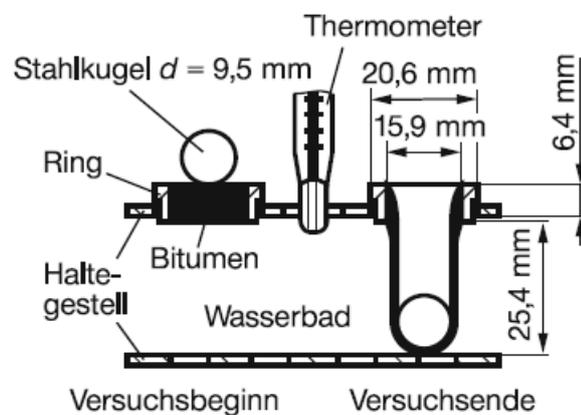
10.1.1.2 Erweichungspunkt Ring und Kugel nach ÖNORM EN 1427 – 15.10.2013

„Zwei in geschulterte Ringe aus Kupfer-Zink-Legierung gegossene Bitumenschichten sind mit kontrollierter Temperaturänderung in einem Flüssigkeitsbad zu erwärmen, wobei jede Schicht eine Stahlkugel trägt. Der Erweichungspunkt ist als Mittelwert der Temperatur anzugeben, bei denen die beiden Bitumenschichten soweit erweicht sind, dass die vom bitumenhaltigen Bindemittel eingeschlossenen Kugeln die Messstrecke von $(25,0 \pm 0,4)$ mm zurückgelegt haben.“ [17]

Der Versuch Ring & Kugel legt den oberen Bereich der Plastizitätsspanne (Gebrauchsspanne) fest. Umso höher der Erweichungspunkt liegt, desto härter ist das Bitumen. Die Prüfung eignet sich für Bitumen die Ihren Erweichungspunkt zwischen 25 °C und 160 °C haben. Falls der Erweichungspunkt höher liegt ist Glycerol anstatt Wasser zu verwenden und der Versuch beginnt bei 25 °C.

Das Bitumen wird in Messingringe mit einem Durchmesser von 15,7 mm gefüllt. Anschließend wird der Überstand abgeschnitten. Der Versuch wird im Wasserbad (Glycerolbad) durchgeführt und beginnt bei einer Temperatur von 5 °C (25 °C). Die Messingringe sind vor Versuchsbeginn auf 5 °C (25 °C) zu temperieren. Während des Versuchs wird die Temperatur im Bad um 5 K/min gesteigert. Die 3,50 g schwere Stahlkugel, welche am Bitumen liegt sinkt infolge der Schwerkraft und des weicher werdenden Bitumen (Temperaturabhängigkeit). Sobald die das Bitumen einen Sack mit einer Länge von 2,54 cm (1 Zoll) erreicht hat wird die Temperatur notiert und der Versuch ist zu Ende. Es werden immer mindestens zwei Proben verwendet.

Abbildung 12: Versuchsaufbau Ring und Kugel [13]



10.1.1.3 Brechpunkt nach Fraaß nach ÖNORM EN 12593

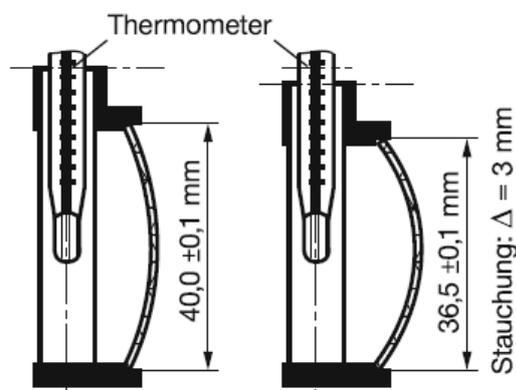
„Temperatur in Grad Celsius, bei der ein bitumenhaltiger Bindemittelfilm von vorgegebener gleichmäßiger Dicke unter festgelegten Belastungen reißt.“ [18]

Beim Brechpunkt nach Fraaß wird der untere Bereich der Gebrauchsspanne festgelegt und gibt Auskunft über das Tieftemperaturverhalten. Der Test beschreibt den Bereich in dem es zu Tieftemperaturzugrissen im Asphaltbeton kommen kann. Es werden 0,41 g Bitumen auf ein Plättchen aus Federstahl aufgeschmolzen, Abmessung 41x21x0,15. Während einer Abkühlung von 1 K/min wird der Verbund Bitumen Federstahl im Brechpunkttautomaten dynamisch belastet. Sobald die Biegezugbelastung des Probekörpers überschritten wird, bricht dieser und die Temperatur wird aufgezeichnet. Je höher die Temperatur beim Versagen liegt, desto härter ist das Bitumen.

Aus dem Versuch Ring & Kugel und dem Versuch Brechpunkt nach Fraaß kann laut nachfolgender Formel die Plastizitätsspanne berechnet werden.

$$\text{Plastizitätsspanne} = T_{\text{EPR\&K}} - T_{\text{BPF}}$$

Abbildung 13: Brechpunkt nach Fraaß [13]



10.1.1.4 Bending Beam Rheometer BBR nach ÖNORM EN 14771:2005-06

Das BBR ist wie die Prüfung des Brechpunktes nach Fraaß (siehe 10.1.1.3) eine Prüfmethode für den Tieftemperaturbereich.

Grundlage für die Prüfung bildet die Balkentheorie. Im Prüfgerät wird in der Mitte eines Bitumenbalkens eine Auflast von 0,981 N mit einem luftgelagerten Stempel aufgebracht. Die Durchbiegung wird durch einen Wegaufnehmer in einem Zeitraum von 240 s gemessen. Durch das Kriechen des Bitumens wird die Durchbiegung in Abhängigkeit der

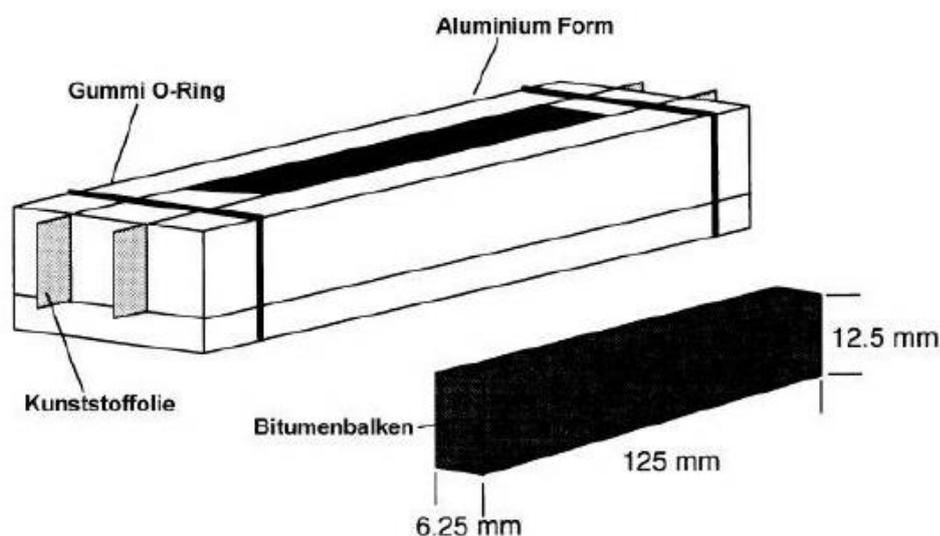
Zeit immer größer. Mit diesem Zusammenhang, lässt sich nach nachstehender Formel die Steifigkeit zu einem beliebigen Zeitpunkt berechnen.

$$S(t) = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot f(t) \cdot I}$$

Um den Versuch von 240 s zu verkürzen, wird die Zeit – Temperatur Superpositionsprinzip angewandt. In dieser Arbeit sind alle interpretierten Werte auf eine Zeitspanne von 60 s bezogen.

Für jeden Versuch werden zwei Bitumenbalken benötigt. Die Form besteht aus Aluminium. Zwischen Aluminium und Bitumen befindet sich eine Kunststoffolie, diese dient für das einfache Ausformen und um Deformationen am Aluminium zu vermeiden (siehe Abbildung 14). Die Form wird mit flüssigen Bitumen gefüllt, nach der Erhärtung wird der Überstand weggeschnitten. Es ist ein Ethanolbad, welches auf Prüftemperatur ist vorzubereiten. Unmittelbar nach dem Ausformen wird der Prüfkörper für 60 Minuten zum temperieren in das Bad gelegt. Die Dauer der Temperierung muss auf ± 2 Minuten eingehalten werden. Grund ist die Veränderung der Steifigkeit auf Grundlage des physical hardening Effektes. Das Ergebnis (Kriechsteifigkeit S [MPa]) der Prüfung liefert der Mittelwert der beiden Ergebnisse.

Abbildung 14: BBR - Prüfkörper (Bitumenbalken) [24]



10.1.1.5 Wasserempfindlichkeit von Asphalt anhand des indirekten Zugversuchs EN 12697 – 12

In dieser Norm werden drei Prüfverfahren zur Bestimmung des Einflusses der Wasser-sättigung und der beschleunigten Klimatisierung durch Wasserlagerung beschrieben.

1. Verfahren A: Es wird die indirekte Zugfestigkeit von zylindrischen Asphaltprobekörpern geprüft.
2. Verfahren B: Es wird die Druckfestigkeit von zylindrischen Asphaltprobekörpern geprüft.
3. Verfahren C: Es wird das Haftvermögen von Softasphaltnischgut 1 h nach dem Mischen definiert. Das Haften von Asphalt auf der Gesteinskörnung wird als „Haftwert“ bezeichnet.

In dieser Arbeit wird das Verfahren A als Grundlage verwendet.

„Eine Gruppe von zylindrischen Probekörpern wird in zwei gleich große Teilgruppen aufgeteilt und klimatisiert. Die eine Teilgruppe wird trocken bei Raumtemperatur gelagert, während die zweite Teilgruppe mit Wasser gesättigt und bei erhöhter Temperatur im Wasser gelagert wird. Im Anschluss an die Klimatisierung wird die indirekte Zugfestigkeit beider Teilgruppen bei der festgelegten Prüftemperatur nach EN 12697 – 23 bestimmt. Das Verhältnis der indirekten Zugfestigkeit der in Wasser gelagerten Teilgruppe zu der der trockenen Teilgruppe wird bestimmt und in Prozent angegeben.“ S. 10 [19]

10.1.2 Prüfverfahren für Polymermodifiziertes Bitumen (PmB)

Für PmB wurden die Standardprüfverfahren von Bitumen um folgende Prüfungen erweitert.

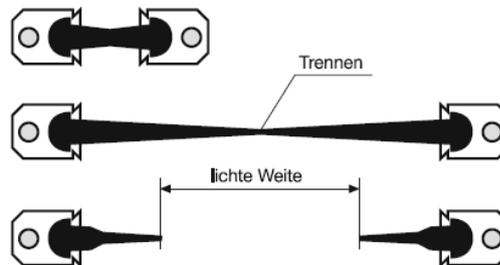
10.1.2.1 Elastische Rückstellung bei 25°C (%) nach ÖNORM EN 13398

„Ein Probekörper aus bitumenhaltigem Bindemittel wird bei der vorgesehenen Prüftemperatur mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50 mm/min auf eine vorher bestimmte Länge (200 mm) ausgezogen. Der so erzeugte Bitumenfaden wird in der Mitte zerschnitten, um zwei Fadenhälften zu erhalten. Nach Ablauf einer vorbestimmten Zeit für das Zurückziehen wird die Verkürzung der Halbfäden gemessen und als prozentualer Wert in Bezug auf die Auszugslänge angegeben.“ [20]

Mit Hilfe dieser Prüfung kann der Modifizierungsgrad mit Polymeren von Polymermodifizierten Bitumen bestimmt werden. Das Bitumen wird in eine Form gegossen, plan abgeschnitten und auf 20 cm ausgezogen bei einer Wasserbadtemperatur von 25 °C. Der Bitumenfaden wird in der Mitte zerschnitten und nach 30 Minuten Wartezeit wird der Abstand zwischen beiden Enden gemessen. Die Elastische Rückstellung wird laut ÖNORM EN 13398 nach nachstehender Formel bestimmt.

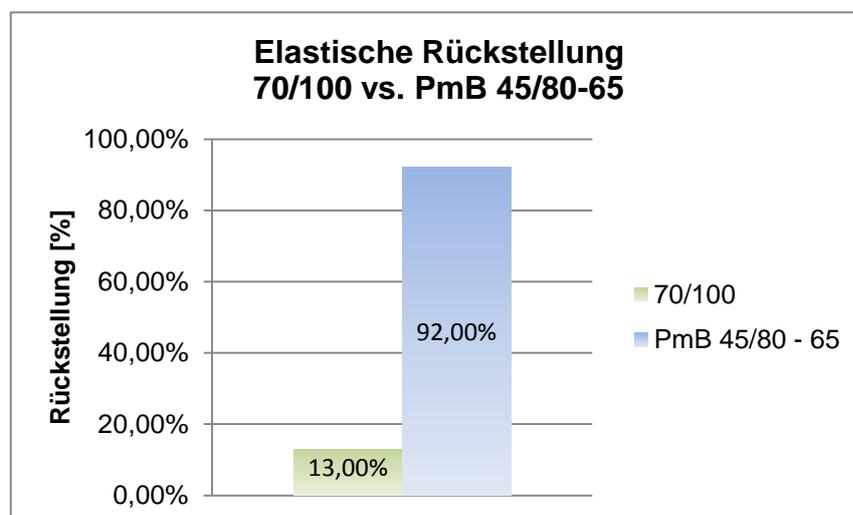
$$\text{Elastische Rückstellung [\%]} = \frac{L [\text{mm}]}{200 [\text{mm}]} \cdot 100$$

Abbildung 15: Versuchsaufbau Elastische Rückstellung [13]



Polymermodifizierte Bitumen lassen sich aus Grundbitumen durch Zugabe eines Polymeres herstellen. Um Eigenschaften vergleichen zu können ist es sinnvoll das PmB aus dem Bitumen mit welchem es verglichen werden soll herzustellen. Um aus dem Grundbitumen 70/100 PmB 45/80 - 65 herzustellen wird das Grundbitumen mit 4,3% SBS modifiziert. Dieser Vorgang wurde im Rahmen von [8] durchgeführt und anschließend die elastischen Rückstellungseigenschaften verglichen. Das Polymere SBS hat eine sehr stark vernetzende Wirkung, auf diesen Umstand ist die viel stärkere elastische Rückstellung zurück zu führen. Unter der Beachtung der Versprödung im Zuge der Alterung von Bitumen stellt die hohe Elastizität von PmB einen großen Vorteil dar, da das Bitumen und somit der Asphaltbeton länger seine gewünschten Eigenschaften (Elastizität etc.) behält.

Diagramm 11: Elastische Rückstellung 70/100 vs. PmB 45/80 – 65 [8]



10.1.2.2 Prüfung der Duktilität

Unter Duktilität wird die Streckbarkeit in Zentimeter verstanden.

Die Duktilitätsprüfung läuft gleich wie die Prüfung der elastischen Rückstellung ab, mit dem Unterschied, dass der Bitumenfaden nicht zerschnitten wird sondern so lange gedehnt/gezogen wird bis dieser reißt. Die Temperatur des Wasserbades beträgt 5 °C.

10.1.2.3 Prüfung Kraftduktilität

Mit Hilfe des Versuches Kraftduktilität kann der Verformungswiderstand eines Bindemittels beurteilt werden. Das Bitumen wird bei einer bestimmten Temperatur gedehnt und die dafür erforderliche Kraft gemessen. Das Ergebnis ist ein Graf, die Fläche unter diesem Graf entspricht der Verformungsarbeit welche für die Streckung nötig war. Je größer die Fläche ist, desto größer ist der Verformungswiderstand des Bitumens.

10.1.2.4 Lagerbeständigkeit, Differenz der Erweichungspunkte (°C) nach ÖNORM EN 13399 und ÖNORM EN 1427

„Eine homogene Probe von modifiziertem Bitumen wird in einem senkrechten Gefäß 3 Tage lang bei 180 °C oder einer vom Hersteller festgelegten Temperatur gehalten. Nach dem abkühlen wird die Probe in 3 gleiche Teile geschnitten. Die beiden Enden (oberer und unterer Teil) werden zur Auswertung möglicher Unterschiede in den Kennwerten weiter analysiert.“ [21]

10.1.3 Simulation der Alterung im Labor

Ziel der simulierten Alterung im Labor ist die Eigenschaften von Bitumen nach einer gewissen Zeitspanne vorhersagen zu können. Durch diese Methodik lässt sich die Eignung eines Bitumens für ein Projekt mit einer gewissen Lebensdauer vorhersagen. Für die künstliche Alterung im Labor wird der Rolling Thin Film Oven Test sowie der Pressure Aging Vessel Test verwendet.

10.1.3.1 Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) nach ÖNORM EN 12607-1

Mit Hilfe des RTFOT wird das Bindemittel (Bitumen) künstlich gealtert, um künstliche Alterungsprozesse aus folgenden Vorgängen abzudecken (Kurzzeitalterung)

- 1) Bitumentransport
- 2) Heißlagerung
- 3) Pumpvorgänge
- 4) Mischen im Asphaltmischwerk
- 5) Asphalttransport zur Einbaustelle
- 6) Mischguteinbau

Bei diesen Vorgängen liegt die Bitumentemperatur zwischen 120 °C und 180 °C und ist teilweise dem Sauerstoff aus der Luft ausgesetzt. Die nachträglich eintretenden oxidativen und destillativen Prozesse werden durch den RTFOT simuliert. Der RTFOT liefert keine Ergebnisse für die Bitumenbewertung sondern erzeugt künstlich gealtertes Bitumen, für weiterführende konventionelle Prüfmethode.

Hierzu werden jeweils $35\text{g} \pm 0,5\text{g}$ Bindemittelproben in Quarzglasflaschen eingefüllt, die in einem Ofen bei $163\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ mit $15 \pm 0,2$ Umdrehungen pro Minute rotierend bewegt werden, so dass sich das Bindemittel als Film auf die Wandungen der Flaschen verteilt und ständig in Bewegung ist. Durch die Bewegung und Verteilung kommt es zu einer großen Reaktionsoberfläche in den horizontal liegenden Flaschen. Die künstliche Alterung wird durch die hohe Temperatur von $163\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ und andererseits durch eine Luftlanze, welche auf $163\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ vorgeheizte Luft mit $4 \pm 0,2$ Liter pro Minute in die Probeflaschen bläst. Nach 75 ± 1 Minuten wird die Rotation gestoppt und die Probeflaschen in eine Metalldose entleert. Die Eigenschaften des verhärteten Bindemittels sind innerhalb von 72 Stunden nach den einzelnen Prüfverfahren zu prüfen, wobei ein mehr als einmaliges Wiedererwärmen der Probe zu vermeiden ist. Die Berechnung nach der Alterung (Verhärtung) sind nach folgenden Formeln zu bestimmen.

1. Prozentualer Anteil der verbliebenen Penetration bei 25 °C

$$= 100 \cdot \frac{P_2}{P_1}$$

2. Änderung des Erweichungspunktes Ring und Kugel (in °C)

$$= T_2 - T_1$$

3. Verhältnis der dynamischen Viskositäten bei 60 °C

$$= \frac{\eta_2}{\eta_1}$$

4. Masseänderung in Prozent der Probe

$$= 100 \cdot \frac{(M_2 - M_1)}{(M_1 - M_0)}$$

Bezeichnung der Variablen

P_1 ...Nadelpenetration vor RTFOT [Zentimeter]

P_2 ...Nadelpenetration nach RTFOT [Zentimeter]

T_1 ... Erweichungspunkt Ring & Kugel vor RTFOT [°C]

T_2 ... Erweichungspunkt Ring & Kugel nach RTFOT [°C]

η_1 ... Dynamische Viskosität vor RTFOT

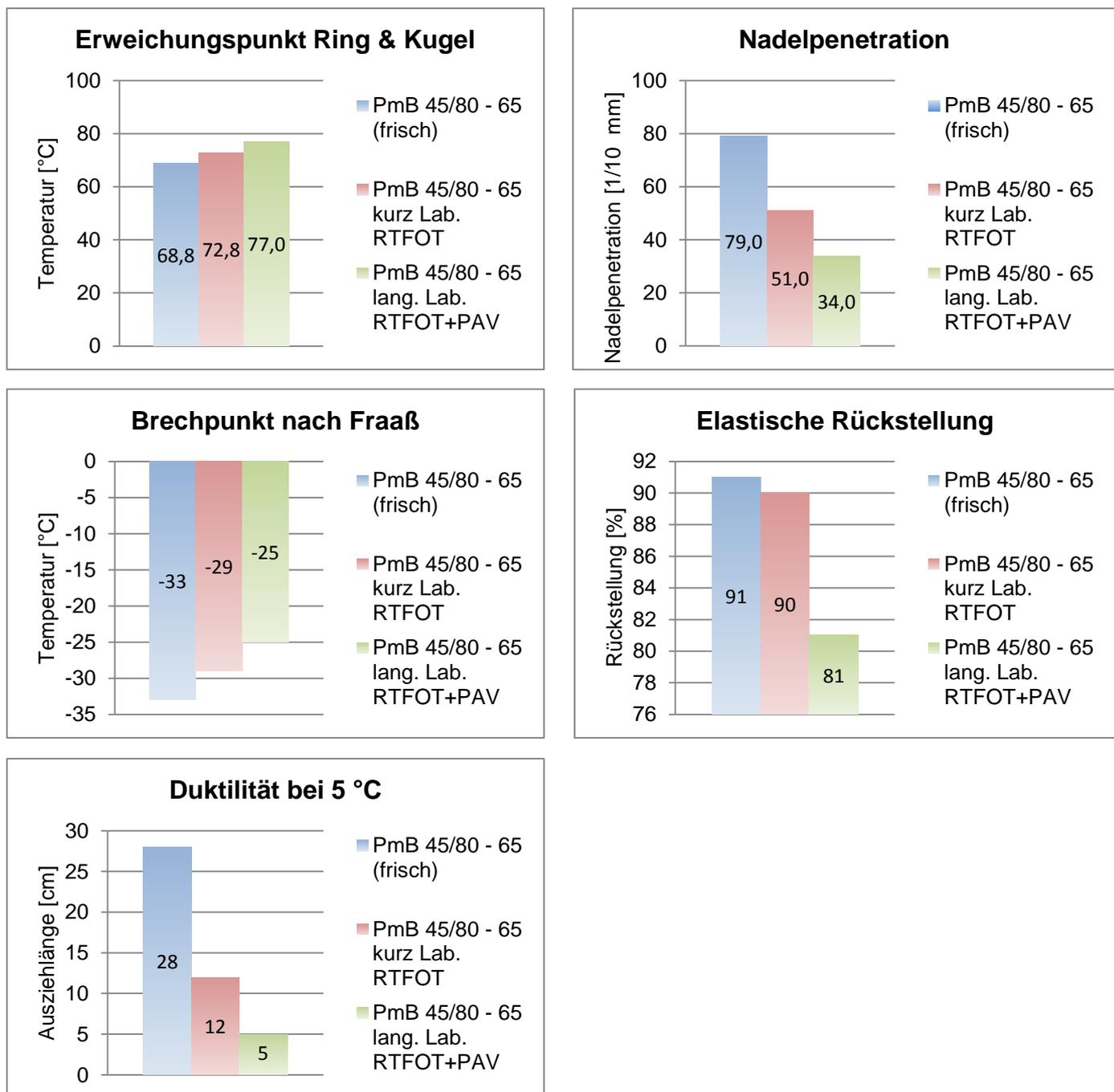
η_2 ... Dynamische Viskosität vor RTFOT

Im Zuge von [8] wurde Bitumen welches 7 Jahre lang in geschlossenen Metallkübeln gelagert wurde auf Veränderungen zufolge der Lagerung überprüft. Die Testergebnisse der Prüfungen vor 7 Jahren wurden mit aktuellen Testergebnissen verglichen. Alle Tests wurden unter denselben Rahmenbedingungen wie vor 7 Jahren durchgeführt. Es zeigte sich dass die Lagerung keinen Einfluss auf die Bitumeneigenschaften hatte.

10.1.4 Veränderungen von Bitumen infolge der Laboralterung

Im Rahmen von [8] wurde PmB 45/80 - 65 im Labor künstlich gealtert und anschließend mit Prüfwerten von Frischbitumen verglichen. Somit konnte das Tendenzielle Verhalten von PmB bei den einzelnen Prüfungen erhoben werden. In den folgenden Diagrammen ist das Verhalten dargestellt. In den Diagrammen ist nur PmB dargestellt, diverse andere Bitumensorten weisen dieselben Tendenzen auf.

Diagramm 12: Tendenzielle Veränderung der Eigenschaften von PmB infolge Laboralterung [8]



11 Erfahrung mit dem Einsatz von Asphaltbetonoberflächendichtungen

11.1 Allgemein

Asphaltbetonoberflächendichtungen gehören heute zu den gängigsten Dichtungsvarianten. Als man vor 1950 begann diese Variante vermehrt zu nutzen, waren die Erfahrungen meist noch sehr dürftig im Asphaltwasserbau, auch waren die Einbautechniken noch im Anfangsstadium. Zu dieser Zeit wurde die Dichtungsschicht noch mehrlagig und oft auch in einer größeren Gesamtstärken eingebracht. Mit der Zeit wurden immer neue Varianten für den Einbau erfunden und somit wurde diese Dichtungsvariante immer wirtschaftlicher und gefragter. Heutzutage wird die Asphaltoberflächendichtung meist einlagig und mit einer Stärke von zirka 7 bis 8 cm eingebracht.

11.2 Speicherbecken mit Asphaltoberflächendichtungen von 1950 bis 2010

Jedes Projekt hat seine spezifischen Anforderungen an die Dichtung. Damit alle Anforderungen erfüllt werden können, muss die Dichtschichtdicke variable sein. Der Einbau kann lagenweise oder auf einmal geschehen, wobei die Dicke einer Lage maschinell sowie vom Material her begrenzt ist. Heutzutage können Dicken mit bis zu 20 cm auf einmal eingebracht werden. In dem nachfolgenden Diagramm ist die zur Anwendung kommende Schichtdicke der Dichtung in Abhängigkeit zur Dammhöhe dargestellt. Da wie bereits erwähnt, jedes Projekt unterschiedlich ist, gibt das Diagramm nur einen groben Überblick. Es ist zu erkennen, dass die meisten Projekte mit einer Schichtstärke von 7 bis 8 cm ausgeführt worden sind. Wenn man die Diagramme „Anzahl der Dichtungslagen“ mit dem Diagramm Dichtschichtstärken vergleicht, kann man erkennen, dass die Schichtstärken zirka gleich geblieben sind über die Jahre, jedoch durch die besseren technischen Voraussetzungen in Bezug auf die Einbaumaschinen der Einbau in mehreren Lagen abnimmt und heute fast gänzlich die Dichtung in einer Lage eingebracht wird.

Im Anhang befindet sich ein Datenblatt, welches einen Überblick über die Dämme die in den Jahren von 1950 bis 2010 mit einer Asphaltbetonoberflächendichtung errichtet wurden.

Abbildung 16: Anzahl der Dichtungslagen 1950 bis 1980

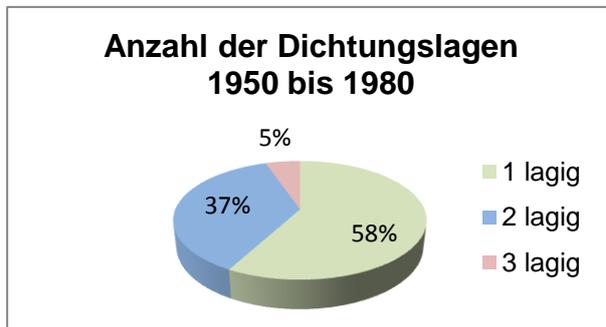


Abbildung 17: Anzahl der Dichtungslagen 1980 bis 2010

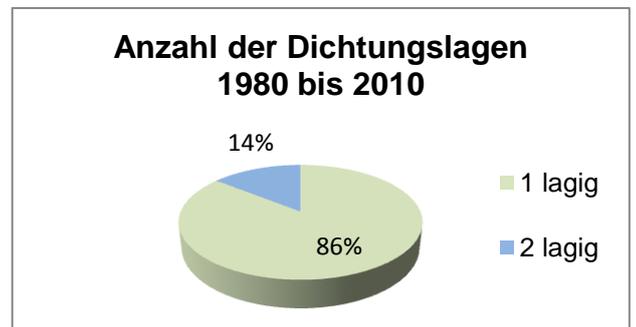
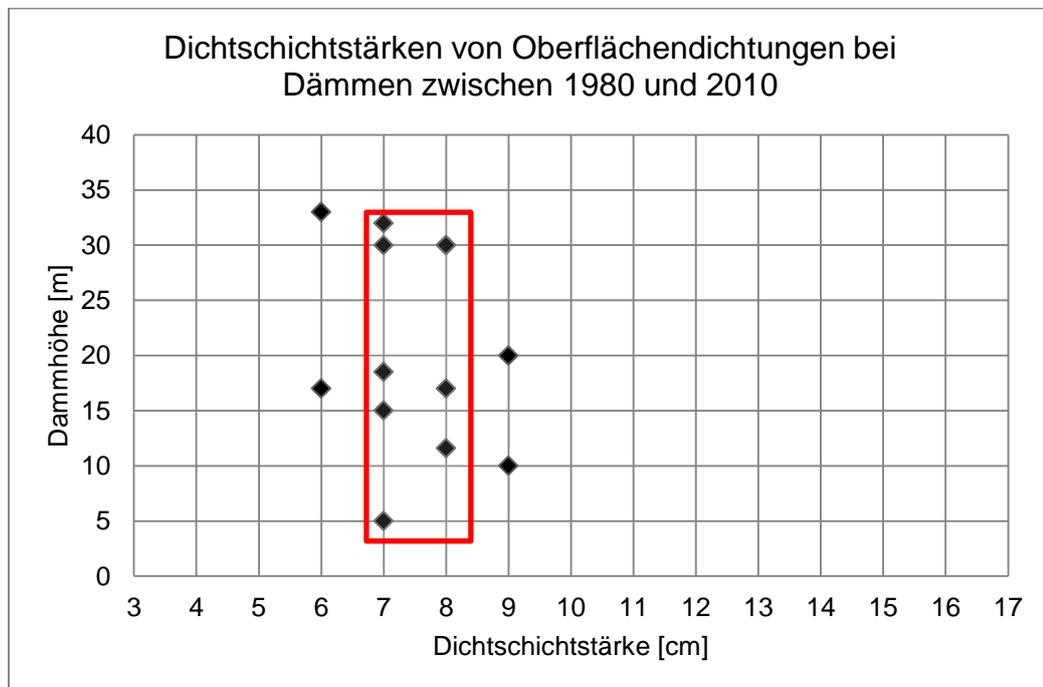


Diagramm 13: Dichtschichtstärken von Oberflächendichtungen bei Dämmen zwischen 1980 und 2010



12 Überprüfung und Überwachungsmethoden der Dichtschicht

Für die frühzeitige Erkennung von Schäden ist eine angemessene Überprüfung unerlässlich. Die Überprüfung wird in drei Methoden gegliedert:

1. Visuelle Kontrolle
2. Zerstörungsfrei Überprüfung (am Bauwerk)
3. Überprüfung an Bohrkernen und Aushackstücken

Neben diesen drei Methoden ist es unerlässlich Sickerwässerkontrollen sowie geodätische Messungen in die Überprüfung und Beurteilung miteinzubeziehen. Da die Dichtungsbelege oft eine große Fläche aufweisen ist es sinnvoll die Überprüfungen in besonders gefährdeten Zonen zu intensivieren. Hierzu zählen unter anderem Wechselwasserzonen, Anschlussfugen, Arbeitsnähte und Flächen mit stärkerer beziehungsweise geringerer Sonneneinstrahlung.

12.1 Visuelle Kontrolle

Diese Art der Überprüfung stellt die Grundlage der beiden weiteren Methoden dar und ist somit die wichtigste. Anhand dieser werden die Varianten zwei und drei stichprobenartig und zielführend eingesetzt. Bei der Visuellen Kontrolle sollten folgende Merkmale genau beobachtet werden [1]:

12.1.1 Risse

Risse können in Einzelrisse, Netzrisse und Walzrisse unterteilt werden. Auch wenn Risse über dem Stauspiegel liegen sind diese zu sanieren, da sie ein großes Schadenspotential beinhalten (Verwitterung etc.).

12.1.1.1 Einzelrisse

Es ist die Lage, Richtung, Rissweite, Tiefe und der Verlauf festzustellen. Ebenfalls muss auf Anzeichen von Wasserverlusten geachtet werden.

12.1.1.2 Netzrisse

Grund für Netzrisse sind meist Überlagerungen von Einbaufehlern und die Alterung des Bitumens. Diese Form der Risse tritt meist oberflächlich auf.

12.1.1.3 Walzrisse

Die Ursache für diese Risse liegt bei der Fertigung des Belages. Kurzfristig können sie beim Einbau geschlossen werden. Mit fortschreitender Bitumenalterung treten diese meist wieder zutage.

12.1.2 Fugen

Die Fugenfüllung der Dichtkonstruktionen sind auf ihre Funktion zu überprüfen.

12.1.3 Nähte

Bei Nähten kommt es herstellungsbedingt (Temperaturunterschiede beim Einbau etc.) sowie aufgrund der Bitumenalterung häufig zu Schäden.

12.1.4 Zerrbereiche

Die Ursache ist meist eine zu geringe Formbeständigkeit des Belages oder aufgenommene Bewegungen des Untergrunds in den Belag. Meist an Belagstruktur erkennbar.

12.1.5 Blasen und Beulen

Diese können beim Einbau oder über die Zeit ausgelöst werden. Grund ist meist eine Dampfbildung zwischen zwei Lagen beziehungsweise Schichten. Auch können landseitige Wasserdrücke sowie Eis Auslöser sein.

12.1.6 Pusteln

Haben von außen Ähnlichkeit mit Blasen oder Beulen. Diese treten im Gegensatz innerhalb einer Lage oder Schicht auf. Grund sind teilweise Flüssigkeitseinschlüsse beim Walzvorgang sowie zu geringe Vorverdichtung etc., auch kann die Ursache im Bindemittel und Hohlraumgehalt gesehen werden. Diese Schäden können von sehr klein bis groß auftreten, kleine Pusteln sind oft nur sehr schwer erkennbar.

12.1.7 Raue Oberflächen, tiefe Poren

Stellen meist kein Problem der Dichtheit dar und werden meist mit Einbaufehler begründet. Vergrößerte Oberfläche für Verwitterung und mechanischer Abtrag.

12.1.8 Bindemittelaustritte (Elefantenhaut)

Grund stellen zu dicke Mastixüberzüge sowie Bindemittelüberschuss dar. Meist nur optische Beeinträchtigung.

12.1.9 Materialabtrag

Mechanische Beanspruchungen wie Eis, Geschiebetrieb etc. verursachen diese Schäden. Eine Sanierung ist erst bei entsprechend fortschreitender Schädigung von Nöten.

12.1.10 Pflanzenbewuchs

Pflanzenbewuchs ist zu entfernen, gegebenenfalls gibt die Verfärbung der Dichtung Auskunft über unterschiedliche Abwitterungs- und Abschlifffvorgänge. Die Wurzeln der Pflanzen können sich nicht sichtbar unterhalb der Dichtung ausbreiten und über längere Zeiträume zu Problemen durch Verfemungen führen.

Abbildung 18: Wurzelwuchs unter Dichtung [5]



12.2 Zerstörungsfreie Prüfungen am Bauwerk

Die Prüfmethode liefern ohne Eichung an einem Bohrkern keine absoluten Aussagen sondern eher Relativwerte. Werden diese Ergebnisse jedoch mit anderen Stellen der Dichtung verglichen, können Schwachstellen relativ zutreffend identifiziert werden. Nebenbei stellen die zerstörungsfreien Prüfungen eine kostengünstige und schnelle Möglichkeit der Prüfungen dar und sind daher für Kontrollen sehr gut geeignet.

12.2.1 Asphaltstärke und Raumdichte

Prüfung wird mit Isotopsonde durchgeführt. Erhaltene Werte der Sonde müssen mit Bohrkernproben kalibriert werden.

12.2.2 Wasserdurchlässigkeitsprüfung

Siehe 6.1.3

12.2.3 Georadar

In der Vergangenheit wurden Testuntersuchungen mit dem Georadar und mit geoelektrischen Untersuchungsmethoden durchgeführt. Die Schwierigkeit der Untersuchungen liegt darin, dass eine dünne Zone unmittelbar unterhalb des Dichtungsaufbaues erfasst und beurteilt werden muss. Vergleichende Erkundungen in Flächen, in denen nach Untersuchungen mit vor erwähneter Methode Unregelmäßigkeiten vermutet wurden, haben den Verdacht von Untergrundproblemen nicht bestätigt. [1]

12.2.4 Thermokamera

Die Methodik der Thermokamera ist noch nicht ausreichend ausgereift für eine aussagekräftige zerstörungsfreie Prüfung.

12.3 Überprüfung an Bohrkernen und Aushackstücken

In wiederkehrenden Abständen sind Materialuntersuchungen welche an Proben durchgeführt werden und somit zerstörerisch sind unerlässlich. Nach [1] sind folgende Prüfungen im Normalfall im Labor durchzuführen:

1. Belagsstärke
2. Raumdichte
3. Rohdichte
4. Hohlraumgehalt

5. Wasserdurchlässigkeit
6. Bindemittelgehalt
7. Kornzusammensetzung
8. Bindemittleigenschaften

Bei besonderem Verdacht ist nach [1] durchzuführen:

1. Formbeständigkeit
2. Haftverhalten
3. Quellversuch

13 Überprüfung und Beurteilung des bestehender Untergrunds

Der Untergrund sowie die Drainage wird von der Dichtschicht überlagert. Es besteht keine Möglichkeit die Schichten unter der Deckschicht visuell zu kontrollieren. Es gibt einige Ansätze mit Messgeräten, welche aber noch nicht ausgereift und zuverlässig sind. Meist werden Schäden mit den erhobenen Gegebenheiten vor Dichtungseinbau sowie mit den Bauprotokollen verglichen und so die Ursachen ermittelt. Beobachtungen an der Oberfläche liefern indirekte Informationen über den Untergrund.

13.1 Schadensformen und Sanierungsmöglichkeiten nach [1]

13.1.1 Lokale kleinräumige Untergrundsetzung

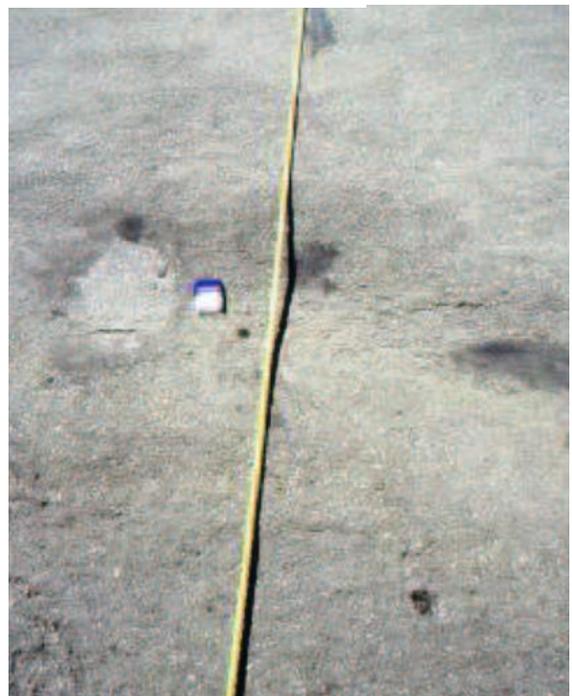
1. Häufigste Ursache

Unterbau mangelhaft oder lokale Undichtheit mit nachfolgendem Erosionsvorgang im Unterbau.

2. Sanierungsmöglichkeit

Abtrag Binder- und Dichtschicht, Sanierung Unterbau durch Materialersatz und Neubau der darüber liegenden Schichten.

Abbildung 19: Einsenkmulde auf Feinausgleichsschicht aus [1]



13.1.2 Großflächige Untergrundsetzung

1. Häufigste Ursache

Geologischer Aufbau des Untergrundes, Untergrunderosion, „Sinkholes“ oder „Orgeln“ im Unterbau, gewählte Dichtungsstruktur etc.

2. Sanierungsmöglichkeit

Großflächig durch Erneuerung des Unterbaues, Neubau des Binders bzw. der Dichtung, laufende Überwachung, etc.

Abbildung 20: Großflächige Untergrundsetzung aus [1]



14 Sanierungsmöglichkeiten von Asphaltbetonoberflächendichtungen

Wenn regelmäßige Kontrollen sowie Sanierungen im Zuge von Instandhaltungsmaßnahmen vorgenommen werden, sind Asphaltbetonoberflächendichtungen sehr langlebig und stellen einen geringen Sanierungsaufwand dar. Es kommt meist zu einer Verschlechterung des Gebrauchsverhaltens bei stark belasteten Stellen (Wasserwechselzone, über Wasserspiegel etc.). An Stellen mit geringer Belastung ist die Dichtung besonders langlebig (Unter geringstem Wasserspiegel etc.). Da die Schäden meist lokal auftreten sind Generalsanierungen nur sehr selten notwendig und es reicht Schadstellen örtlich zu sanieren. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass kleinflächige Sanierungen sehr viel Know-How verlangen und technisch schwieriger umsetzbar sind als eine Generalsanierung. Auch ist die Lebensdauer der sanierten Stelle in Relation zur Gesamtlebensdauer der Dichtung zu stellen und hier nach wirtschaftlichen Überlegungen zu entscheiden welche Variante die günstigere ist. Grundsätzlich treten die meisten Schäden an der Wasserwechselzone und darüber auf (Schnee und Eis, große Temperaturunterschiede etc.).

14.1 Anforderungen an Sanierungen

An Sanierungsmaßnahmen werden dieselben Anforderungen wie an den Neubau gestellt, siehe 4.3.

14.1.1 Kleinflächige Schäden und Sanierungsmöglichkeiten [1]

Darunter werden lokal begrenzte Schäden verstanden, wobei der Bereich des Schadens im Promille- oder kleinen Prozentbereich der Gesamtdichtungsfläche liegt.

14.1.1.1 Dammkronenrisse in Falllinie

1. Häufigste Ursache

Tieftemperaturverhalten des Materials

2. Erscheinungsbild

Regelmäßige Abstände zirka 10 bis 15 m, begrenzte Länge in Falllinie, Öffnungsweite differenziert zwischen Winter und Sommer (Temperatur), Riss meist durch alle Schichten des Dichtungsaufbaues

Abbildung 21: Dammkronenriss in Falllinie, Sanierung nach a. [1]



3. Sanierungsmöglichkeit

a. Überbrückung des Risses mit diversen Materialien

Sehr gute Möglichkeit bei Berücksichtigung von Langzeiterfahrungen sowie bei der richtigen Materialwahl.

b. Ausfräsen eines zumindest etwa 0,20 bis 0,50 m breiten Streifens

Einfrästiefe mindestens $\frac{2}{3}$ der Dichtungstiefe, einbringen von weichem Dichtasphalt mit optimierter Rezeptur, wenn der Altbelag zu steif ist, kann es zu seitlichen Rissen kommen

c. Ausfräsen des Risses mit Rissfräse und Verfüllen

Die Fuge wird mit plastischen oder elastischen Fugenmaterial aus Bitumen verfüllt, hier kommt es sehr oft zum Versagen des seitlichen Haftverbundes trotz fachmännischen Einbaus.

14.1.1.2 Dammkronenrisse entlang Krone

1. Häufigste Ursache

Einbautechnik am oberen Dichtungsrand sowie unterschiedliche Verformungen im Kronenbereich, Fehlen einer Sollbruchstelle mit anschließender Verfüllung sowie Fehlen eines Abschlussbalkens.

2. Erscheinungsbild

Horizontale Risse entlang der Dammkrone

Abbildung 22: Riss entlang Dammkrone zwischen Dichtasphalt der Böschung und Kronenausrundung [1]



3. Sanierung

Einführung einer Sollbruchstelle in der Planungsphase (tiefe mindestens 70 – 80% der Dichtschicht) und Verfüllung dieser nach Abklingen der Hauptsetzungen (zirka 1 Jahr). Falls keine Sollbruchstelle – laufende Verfüllung des Risses oder nachträgliches einbauen eines Abschlussbalkens

14.1.1.3 Risse in Arbeitsnähten

1. Häufigste Ursache

Falsche beziehungsweise fehlerhafte Einbautechnik, feuchte Bahnfuge

2. Erscheinungsbild

Abbildung 23: Riss entlang einer Einbaufuge (heiß auf heiß) einer einlagigen Dichtung [1]



3. Sanierung

Reinigen und Trocknen, aufwärmen mit Infrarotheizbalken und Nachbearbeiten beziehungsweise Oberflächenversiegeln

14.1.1.4 Risse in Bahnnähten

1. Häufigste Ursache

Dünne Dichtlagen und/oder abgekühlte Bahnnaht sowie fehlende Nachbehandlung

2. Erscheinungsbild

Abbildung 24: Riss in einer Bahnnaht (zweilagige Dichtung nach 40 Betriebsjahren) [1]



3. Sanierung

Meist nur Generalsanierung möglich

14.1.1.5 Risse entlang von Anschlüssen an Betonbauwerken

1. Häufigste Ursache

Betonkonstruktion zu spitze Winkel und Kanten sowie größere Bauwerkshöhen ohne Magerbetonhinterfüllung, mangelhafte Hinterfüllung und Verdichtung

2. Erscheinungsbild

Abbildung 25: Riss entlang Herdmaueranschluss [1]



3. Sanierung

„Entfernen der Schadstellen einschließlich des beschädigten Unterbaues, geordnete Hinterfüllung mit Verdichtung des Unterbaues oder Ersatz durch Hinterfüllungsbeton, Reinigen und Vorstreichen aller Betonflächen mit bituminösem Haftvermittler (es ist unbedingt auf die Restfeuchtigkeit des Untergrunds (Bauteils) zu achten, damit keine Dampfdiffusion vom Untergrund in die Dichtung entsteht), Herstellen eines Verstärkungskeils, Herstellen einer neuen Gleitfuge auf Betonoberfläche mit geeignetem Material, Einbringen Dichtmaterial (keilförmig) nach Aufbringung eines Voranstriches an vorgewärmten Anschlussrändern, sowie entsprechendes Verdichten und Ausbildung der Bauwerksanschlussfugen (Verfüllen, Dichtung); für den Dichtungseinbau sind die üblichen Einbaubedingungen (Temperatur, Trockenheit etc.) einzuhalten.“ [1 S. 17 Teil C]

14.1.1.6 Offene Kittfuge entlang von Betonbauwerken

1. Häufigste Ursache

Verfüllmaterialien haben kürzere Lebensdauer als Asphaltbetondichtung

2. Erscheinungsbild

Abbildung 26: Anschlussfuge mit Bitumenverguss, sanieren Kittfuge mit dauerelastischem Kitt [1]



3. Sanierung

Bituminöses Fugenmaterial (besonders langlebig), alle 20 Jahre Vollsanierung beziehungsweise Austausch

14.1.1.7 Risse in Dichtungsfläche

1. Häufigste Ursache

Walzenreinigung mit Dieselöl während Verdichtung, verschmutzte und nasse Oberflächen etc.

2. Erscheinungsbild

3. Sanierung

Beschädigte Dichtungsstellen entfernen und reinigen des Untergrundes. Abschlussränder abschrägen und herstellen eines Haftverbundes, Anschlussränder vorwärmen mithilfe

fe eines Infrarotgerätes, einbringen des Dichtungsmischgutes mit anschließender Verdichtung (eventuell Oberflächenversiegelung)

14.1.1.8 Walzrisse in der Dichtungsfläche

1. Häufigste Ursache

Vibration bei Abwärtsverdichtung, Asphaltbeton zu heiß oder zu kalt beim verdichten

2. Erscheinungsbild

Risse sind in den meisten Fällen nur 1 bis 3 cm tief, daher keine Undichtheiten, mit fortschreitendem Dichtungsalter kann es zu Problemen führen.

Abbildung 27: Walzrisse [1]



3. Sanierung

Kleinflächige Schäden mit Heißmastix versiegeln, bei großen Flächen abfräsen und Neueinbau der Dichtschicht

14.1.1.9 Pusteln

1. Häufigste Ursache

- Einlagige Dichtungen

Treten sehr selten auf, eventuell zu dichter Binder, Mischgutzusammensetzung, Unregelmäßigkeiten beim Einbau etc. (oft Unklare Ursachen)

- Mehrlagige Dichtungen

Unterschiedlicher Hohlraumgehalt von Dichtschichten, Dampfdruck und Eiseinwirkung, häufiger Frost- Tauwechsel, Feuchtigkeit etc.

2. Erscheinungsbild

Abbildung 28: Pusteln (nach 40 Betriebsjahren), Verteilung von Pusteln [1]



3. Sanierung

- Vereinzelttes Auftreten

Lokale Sanierung durch Aufstemmen, Aufheizen und Auskratzen der Ränder ($45^\circ - 60^\circ$), bituminöser Voranstrich, Heißmischgut mit beheiztem Handverdichtungsgerät einbauen, eventuell Oberflächenversiegeln

- Flächige begrenztes Auftreten

Flächig abfräsen und Flächiger Dichtungersatz

- Vollflächigem Auftreten

Generalsanierung

14.1.1.10 Blasen

1. Häufigste Ursache

Einschluss von Feuchtigkeit und/oder Luft während des Einbaues

2. Erscheinungsbild

Abbildung 29: Blasen [1]



3. Sanierung

Große Blasen ausfräsen und einbringen von neuem Dichtmaterial. Bei kleinen Blasen aufstechen, erhitzen und verdichten.

14.1.1.11 Mastixschäden

1. Häufigste Ursache

Auftragstechnik und Menge und Zusammensetzung fehlerhaft

2. Erscheinungsbild

Abbildung 30: Mastixschaden (Elefantenhaut) [1]



3. Sanierung

Diverse Möglichkeiten

14.1.1.12 Riefen durch Steine etc.

1. Häufigste Ursache

Abgleiten von mit Steinen versetztem Eis und Schnee an Dichtungsoberfläche

2. Erscheinungsbild

Abbildung 31: Riefe durch Stein [1]



3. Sanierung

Bis 2 bis 3 cm tiefe Dichtung erhitzen und mit Handverdichter verschließen. Bei tieferen Riefen muss händisch Mischgut eingebaut werden und auch händisch verdichtet werden (vor Verschließung Reinigung und Trocknung).

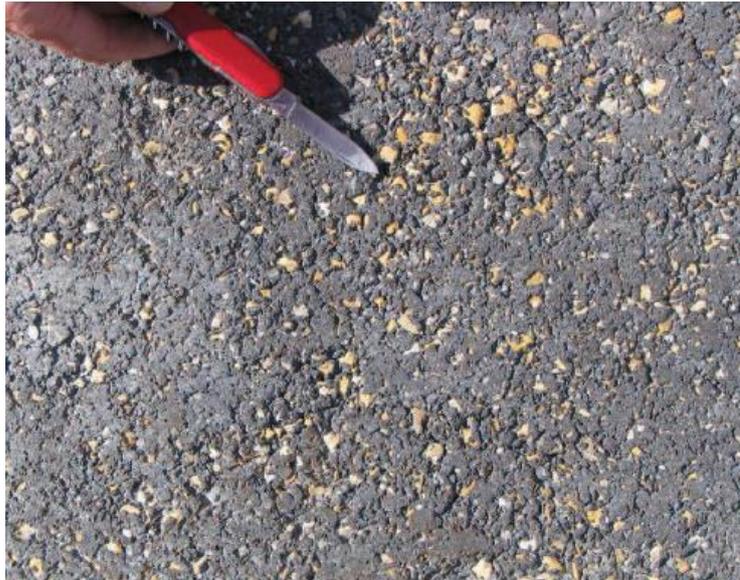
14.1.1.13 Haftverbund Zuschlagsstoffe bzw. mangelhafte Affinität

1. Häufigste Ursache

Zuschlagsstoffe mangelhaft

2. Erscheinungsbild

Abbildung 32: Geringe Affinität zwischen Zuschlagsstoffen und Bitumen [1]



3. Sanierung

Generalsanierung, kurzzeitig kann mit einer Mastixschicht Abhilfe geschaffen werden

14.1.1.14 Horizontale Arbeitsfugen bzw. Einbaunähte

1. Häufigste Ursache

Mangelhafte Arbeitstechnik

2. Erscheinungsbild

Abbildung 33: Mangelhafte Anschlussfuge (Naht durch stehengebliebene Walze) [1]



3. Sanierung

Überbauung mit diversen Methoden oder abfräsen und einbringen eines Dichtmaterials.

14.1.2 Großflächige Sanierungen und Generalsanierungen

Die Entscheidung ob eine Sanierung zu erfolgen hat, hängt im Allgemeinen vom Schadensbild der Asphaltbetonoberflächendichtung (Dichtschicht, Binderschicht, Untergrund etc.) sowie wirtschaftlichen Überlegungen ab. Grundsätzlich ist die Lebensdauer von Oberflächendichtungen geringer als die übrigen Einrichtungen an einem Damm oder Staumauer, dieser Umstand begründet die Überlegung einer Sanierung.

14.1.2.1 Methode

Zumeist werden die alten Dichtungsschichten (ein, zwei oder mehrlagige Dichtungen) fast zur Gänze abgefräst. In machen Fällen können Bestände des Binders erhalten bleiben, dies ist von Sanierung zu Sanierung zu unterscheiden. Bei zwei oder mehrlagigen Dichtungen werden alle Schichten bis auf die unterste komplett abgetragen, die untere wird entweder 2 bis 3 cm angefräst oder ebenfalls komplett abgetragen. Bei allen Fräsvorgängen ist auf eine gleichmäßige Abnahmedicke zu achten. Der Vorgang kann entweder vertikal wie in den meisten Fällen oder horizontal erfolgen. Nach dem Entfernen der überflüssigen Schichten muss die gefräste Schicht vollkommen mit Wasser und Druckluft gereinigt werden. Anschließend wird dies mit Bitumenemulsion oder einem geeigneten Haftverbund vollständig und gleichmäßig vorgespritzt. Neue Dichtungen werden zumeist einlagig eingebracht, für die Varianten und Schichtstärken siehe 11.2. Bei älteren Dichtungen können Asbestfasern enthalten sein, hier muss ein ausreichender Schutz für die Arbeiter vorgenommen werden. Das abgefräste Material kann teilweise recycelt werden und für die neue bituminöse Drainschicht eingesetzt werden. Falls Asbestfasern enthalten sein sollten, ist Recycling nicht möglich.

Für die verschiedenen Einbaumöglichkeiten siehe 5.4.5.

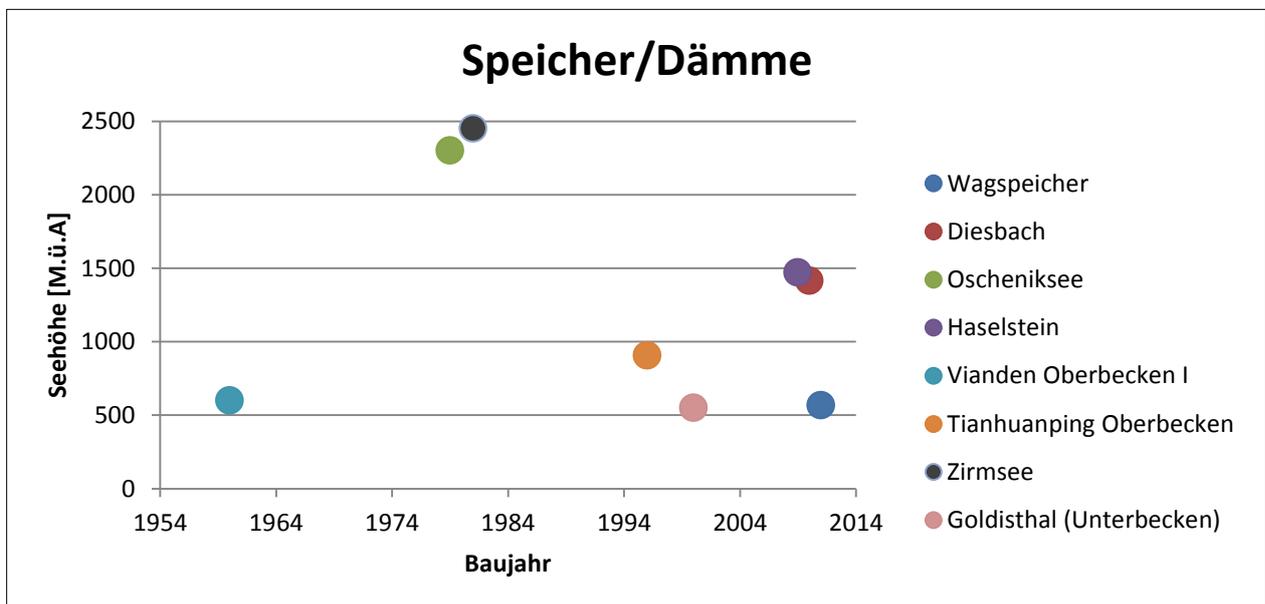
15 Vergleich von Dämmen und Speichern

Da in dieser Arbeit das Langzeitverhalten von Asphaltbetonoberflächendichtungen behandelt wird, wurden neun Speicher/Dämme zusammengestellt welche in dieser Arbeit hinsichtlich ihres Dichtungsaufbaues diskutiert werden. Um möglichst viele Einflüsse auf das Langzeitverhalten des Asphaltbetons abzudecken wurden die Speicher/Dämme nach Exposition, Höhenlage und Alter ausgewählt. In Tabelle 14 sind die Dämme und Speicher aufgelistet.

Tabelle 14: Auflistung von Dämmen und Speicherbecken mit Asphaltbetonoberflächendichtungen

| Speicherbezeichnung | Betreiber | Bauausführung | Baujahr (Beginn) | Sanierung | Seehöhe [müA] |
|--------------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------|-----------|---------------|
| Staubecken Latschau I | Vorarlberger Illwerke AG | | 1943/1972 | 2011 | 992 |
| Wagspeicher | Verbund | Walo | 1963 | 2011 | 567 |
| Diesbach | Salzburg AG | Speicherdamm san | 1964 | 2010 | 1415 |
| Oscheniksee | Kelag | | 1979 | | 2300 |
| Haselstein | Kelag | Speicherbecken san | 1950 | 2009 | 1471 |
| Vianden Oberbecken I | Société électrique de l'Our | Walo ? | 1960 | | 600 |
| Tianhuanping Oberbecken | East China Electric Power Corpora | Speicherbecken neu | 1996 | - | 905 |
| Zirmsee | Kelag | Speicherdamm neu | 1981 | - | 2450 |
| Goldisthal (Unterbecken) | Vattenfall Europe Generation AG | Speicherbecken neu | 2000 | - | 550 |

Diagramm 14: Speicher und Dämme nach Höhenlage und Baujahr



15.1 Schlussfolgerung zur Dauerhaftigkeit

Da mit den neun ausgewählten Speichern/Dämmen ein sehr großer Anteil an verschiedenen Belastungen, welche Auswirkung auf die Alterung haben können, abgedeckt werden, ist interessant, dass die Zusammensetzung der einzelnen Dichtschichten meist sehr ähnlich ist. Die Rezepturen werden nicht hauptsächlich nach den Einwirkungen abgestimmt, sondern es fällt auf, dass meist Erfahrungen mit den einzelnen Rezepturen den entscheidenden Ausschlag für die Anwendung geben. Im Kapitel 7.1 in Diagramm 4 werden die verwendeten Bitumensorten grafisch dargestellt. Die Ausgangselastizität des Bindemittels beeinflusst die Lebensdauer des Asphaltbetons sehr stark. Hauptgrund für den Abbau der Elastizität sind Spannungswechsel, Bindemittel mit einer höheren Elastizität können einer größeren Anzahl an Spannungswechsel widerstehen bevor diese einen kritischen Wert für die Dichtung erreicht (siehe 7.1.3). Die größten Temperaturschwankungen treten in hohen Lagen auf, demnach treten hier auch die häufigsten und größten Spannungen auf. Aus diesem Zusammenhang sollte man annehmen, dass in diesen Lagen Bindemittel mit hoher Elastizität eingesetzt werden. Dies wurde anhand der neun ausgewählten Dämme nicht bestätigt. Grund dafür sind die steilen Böschungen, hier ist die Standfestigkeit entscheidend nicht die Elastizität. Theoretisch kann abgeleitet werden, dass Dämme in hohen Lagen eine geringere Dauerhaftigkeit aufweisen. Dies wurde nicht bestätigt. Diese Umstände erlauben den Schluss, welcher im Kapitel 7.1.3 durch Daten von Messungen und Laboruntersuchungen untermauert wird, dass zirka 80% der Alterung des Bindemittels beim Mischen, Transport und Einbau der Dichtung verursacht werden können. Dies wurde im Labor für diverse PmB mit dem RTFOT bestätigt (siehe Diagramm 12). Somit bleiben zirka 20% der Gesamalterung übrig, welche auf die beschriebenen Einflussfaktoren (Kapitel 4.2) zurück geführt werden können. Aus diesen Zusammenhängen ist es von Vorteil, ein Bindemittel zu wählen, welches gemeinsam mit den Zuschlagsstoffen gute Einbaueigenschaften aufweist und mit welchem Erfahrungen für den Einbau vorliegen, da bei diesem Schritt die Langlebigkeit der Dichtung maßgeblich bestimmt wird. Im Kapitel 15.2 sind die Speicher und Dämme zusammengestellt, welche für die Interpretation und Schlussfolgerung herangezogen wurden.

15.2 Übersicht und Daten zu den ausgewählten Speichern

Tabelle 15: Wagspeicher

| Wagspeicher | |
|-----------------------------------|--|
| Allgemeines | |
| Projekt | Sanierung Speicher Wag |
| Bauvorhaben (Becken, Damm, Kanal) | Becken |
| Bauherr | Verbund Hydro Power AG |
| Ausführende Firma | Walo Bertschinger AG |
| Ausführungszeitraum | 03-10 2011 |
| Zweck | Sanierung aus Altersgründen (Inbetriebnahme 1963 - Teilsanierung wegen Einbrüchen durch geologische Orgeln 1974 und leichte Setzungen sowie Risse im Asphalt 2009) |
| Technische Daten | |
| Größe | Speicherbeckeninhalt: 1,95 Mio m ³ |
| Höhe | 17 m |
| Böschungsneigung | 1:1,75 |
| Einbauart (horizontal/vertikal) | vertikal |
| Aufbau (Lagen) | Mastix (Böschung), 7 cm Dichtasphalt, 8 cm Binder (Sohle) - bzw. Dränasphalt (Böschung) sowie zusätzlich 4 cm Dichtasphalt (Böschung) |
| Untergrund Böschung | best. Binder- und Dichtasphalt |
| Untergrund Sohle | 40 cm Flächenfilter KK 4/32; Folienabdichtung PEHD 2 mm, Ausgleichsschicht 10 cm |
| Untergrund Dichtungsaufbau neu | Filterschicht |
| Stärke | 7 cm Dichtasphalt, zusätzliche Lage 4 cm Dichtasphalt in Böschung |
| Größtkorn | 16 mm |
| Bitumenart | 70/100 Fläche Sohle 142000 m ² , Fläche Böschung 40000 m ² |
| Stärke | 8 cm Binder |
| Größtkorn | 16 mm |
| Bitumenart | 70/100 A= 142 000 m ² Sohle |
| Dränaufbau (Böschung) | |
| Stärke | 8 cm Dränasphalt |
| Größtkorn | 16 mm |
| Bitumenart | 70/100 |
| Sonst | Fläche Böschung 40000 m ² |
| Mastix Details | A = 40000 m ² |
| Einbau | |
| Gerätschaften | 3 Fertiger, 4 Windenwägen und 6 Walzen |
| Maximale Einbauleistung pro Tag | 2000 to Asphalt |
| Asphaltlieferwerk (Entfernung) | Asphaltmischanlage vor Ort |
| Überwachung | |
| Überwachung (eigen/fremd) | Eigen: Walo Bertschinger, Fremd: BVFS |
| Sonstige Kontrollen | Verbund Hydro Power |
| Sonstige Betriebserfahrungen | |
| Kostenrahmen | 12 Mio. € |
| Bemerkung | Herstellung Planum mit GPS gesteuerten Baufahrz. |

Tabelle 16: Dießbach

| Dießbach | |
|-----------------------------------|--|
| Allgemeines | |
| Projekt | Dammsanierung KW Dießbach |
| Bauvorhaben (Becken, Damm, Kanal) | Asphaltsanierung Damm |
| Bauherr | Salzburg AG |
| Ausführende Firma | Walo Bertschinger AG |
| Ausführungszeitraum | 07/2010 - 09/2010 |
| Zweck | Sanierung aus Alterungsgründen (Bestand 1964) |
| Technische Daten | |
| Größe | Speicherbeckeninhalt: 4,92 Mio. m ³ Böschung: 8582 m ² Kronenlänge: 198 m |
| Höhe | 36 m |
| Böschungsneigung | 1:1,7 |
| Einbauart (horizontal/vertikal) | Böschung: vertikal (Anschlussbereich horizontal) |
| Aufbau (Lagen) | 8 cm Dichtlage und Mastix Böschung: Steinschüttung, Filterschicht, Binder, Dichtung Sanierung durch abfräsen der alten Dichtung und aufbringen einer neuen Dichtlage |
| Untergrund | 1 cm Dichtlage (Altbestand), 8 cm binder alt |
| Dichtungsaufbau neu | |
| Stärke | 8 cm |
| Größtkorn | 16 mm |
| Bitumenart | Bitumen 70/100 Plus und PmB 45/80-65 |
| Binderaufbau neu | |
| Stärke | 8 cm (teilweise erneuerung des bestehenden Binders ca. 300 m ² , Rest alter Binder) |
| Größtkorn | 16 mm |
| Bitumenart | B 70/100 Plus |
| Mastix Details | Mittel ca. 2 kg/m ² Fremdfüller - 74% Bitumen 70/100 - 26% |
| Einbau | |
| Gerätschaften | Böschungsfräse Fertigerwindenwagen Walzenwindewagen Böschungsfertiger Böschungswalzen |
| Mittlere Einbauleistung pro Tag | 1400 m ² |
| Asphaltlieferwerk (Entfernung) | Asphaltmischanlage "Die Pinzgau", 14 km |
| Überwachung | |
| Überwachung (eigen/fremd) | Eigenüberwachung und Fremdüberwachung: Arge Bautech, 6112 Wattens |
| Sonstige Kontrollen | ÖBA |
| Sonstige | |
| Betriebserfahrungen | Alte Dichtung hatte alterungsbedingte Schäden, neue Dichtung einlagig |
| Kostenrahmen | 1300000 € (nur Asphaltbau) |

Tabelle 17: Haselstein

| Haselstein | |
|-----------------------------------|---|
| Allgemeines | |
| Projekt | Sanierung Speicher Haselstein |
| Bauvorhaben (Becken, Damm, Kanal) | Becken |
| Bauherr | KELAG - Kärntner Elektrizitäts - AG |
| Ausführende Firma | Walo Bertschinger AG |
| Ausführungszeitraum | 07/2009 - 10/2009 |
| Zweck | Ausgleichsspeicher |
| Technische Daten | |
| Größe | Speicherbeckeninhalt: 43 000 m ³ Böschung: 8000 m ² Kronenlänge: 470 m |
| Höhe | 18 m |
| Böschungsneigung | 2:3 |
| Einbauart (horizontal/vertikal) | Böschung: vertikal, Sohle: horizontal |
| Aufbau (Lagen) | Sohle und Böschung: Erdbau, Filterschicht, Binder, Dichtung |
| Untergrund | Filterschichte |
| Dichtungsaufbau neu | |
| Stärke | 8 cm |
| Größtkorn | 16 mm |
| Bitumenart | PmB 45/80-65 |
| Binderaufbau neu | |
| Stärke | 5 cm auf bestehender Binderschicht / 8 cm |
| Größtkorn | 16 mm |
| Bitumenart | 70/100 |
| Mastix Details | |
| Einbau | |
| Gerätschaften | Böschungsfräse Fertigerwindenwagen Walzenwindewagen Böschungsfertiger/ Sohlfertiger Böschungswalzen |
| Mittlere Einbauleistung pro Tag | |
| Asphaltlieferwerk (Entfernung) | Austria Asphalt GmbH & Co OHG Asphaltnischanlage Lendorf, 40 km |
| Überwachung | |
| Überwachung (eigen/fremd) | Eigenüberwachung: TPA Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovationen GmbH Fremdüberwachung: Abteilung |
| Sonstige Kontrollen | |
| Sonstige | |
| Betriebserfahrungen | |
| Kostenrahmen | 1350000 € (nur Asphaltbau) |
| Bemerkung | Besonders enge Krümmungsradien |

Tabelle 18: Tianhuanping

| Tianhuanping | |
|-----------------------------------|---|
| Allgemeines | |
| Projekt | Tianhuanping |
| Bauvorhaben (Becken, Damm, Kanal) | Neubau Becken |
| Bauherr | east China Electric Power Corp., Shanghai |
| Ausführende Firma | Strabag AG |
| Ausführungszeitraum | 1996 - 1997 |
| Zweck | Oberbecken PSW |
| Technische Daten | |
| Größe | 220000 m ² Böschung 66000 m ² Sohle |
| Höhe | |
| Böschungsneigung | 1:2,4; 1:2 |
| Einbauart (horizontal/vertikal) | Vertikal |
| Aufbau (Lagen) | |
| Untergrund | Filterschichte 30 cm, GK 20 mm und/oder Drainageschichte, 60 - 90 cm dick, GK 60mm |
| Dichtungsaufbau | |
| Stärke | Böschung 10 cm, Sohle 8 cm |
| Größtkorn | 16 mm |
| Bitumenart | 80/ 100 |
| Binderaufbau | |
| Stärke | Böschung 10 cm, Sohle 8 cm |
| Größtkorn | 22 mm |
| Bitumenart | 80/100 |
| Mastix Details | ca. 35% Bitumen, ca. 65% Füller, Heißmastix |
| Einbau | |
| Gerätschaften | 2 Böschungsfertiger mit Windewagen Supply Car Walzen |
| Mittlere Einbauleistung pro Tag | Binder: 1800-4000 m ² , Dichtung: 1900-3900 m ² |
| Asphaltlieferwerk (Entfernung) | auf Baustelle |
| Überwachung | |
| Überwachung (eigen/fremd) | Eigen und Fremdüberwachung |
| Sonstige Kontrollen | Externe Qualitätskontrolle |
| Sonstige | |
| Betriebserfahrungen | keine Probleme bekannt |
| Kostenrahmen | |
| Bemerkung | Ursprünglicher Entwurf war mehrlagige Dichtung wurde auf einlagig geändert |

Tabelle 19: Zirmsee

| Zirmsee | |
|----------------------------------|---|
| Allgemeines | |
| Projekt | Zirmsee |
| Bauvorhaben (Becken, Damm,Kanal) | Damm (Neubau) |
| Bauherr | KELAG - Kärntner Elektrizitäts - AG |
| Ausführende Firma | Strabag (Dammschüttung), Asphalt&Beton,Walo |
| Ausführungszeitraum | 1981/82 |
| Zweck | Wasserkraft (Fernspeicher) |
| Technische Daten | |
| Größe | 17500 m ² |
| Höhe | 40 m (wasserseitig) |
| Böschungsneigung | 1:1,5 (wasserseitig), 1:1,4 (luftseitig) |
| Einbauart (horizontal/vertikal) | Vertikal |
| Aufbau (Lagen) | Übergangszone (2-3m), Filterschicht(mind. 50 cm), Binder 13 cm, Dichtung 12 cm |
| Untergrund | 2 - 3 m Übergangszone (Größtkorn 500 mm), mind. 50 cm Filterschicht (Korngröße 10 - 100 |
| Dichtungsaufbau | |
| Stärke | 9 cm (Höhe Dammkrone) - 12 cm (bei Herdm.) |
| Größtkorn | 12 mm |
| Bitumenart | Pen/R&K B80 |
| Binderaufbau | |
| Stärke | 13 cm |
| Größtkorn | 18 mm |
| Bitumenart | Pen/R&K B80 |
| Sonstiges | ca. 4% Bindemittel |
| Einbau | |
| Gerätschaften | Fertigerwindenwagen Walzenwindenwagen Böschungsfertiger Böschungswalzen |
| Überwachung | |
| Überwachung (eigen/fremd) | Strabag |
| Sonstige Kontrollen | |
| Sonstige | |
| Betriebserfahrungen | |
| Kostenrahmen | |
| Bemerkung | |

Tabelle 20: Goldisthal

| Goldisthal | |
|-----------------------------------|--|
| Allgemeines | |
| Projekt | Goldisthal (Deutschland) |
| Bauvorhaben (Becken, Damm, Kanal) | Neubau |
| Bauherr | Vattenfall Europe Generation AG & CoKG |
| Ausführende Firma | Strabag International GmbH |
| Ausführungszeitraum | 07/2000 - 05/2001 |
| Zweck | Wasserversorgung, Bewässerung |
| Technische Daten | |
| Größe | Länge 220 m, Dammvolumen 070 Mio m ³ , Höhe 68 m, Fläche 15500 m ² |
| Höhe | 68 m |
| Böschungsneigung | 1:1,6 (wasserseitig), 1:1,6 (luftseitig) |
| Einbauart (horizontal/vertikal) | Vertikal |
| Aufbau (Lagen) | Obere Dichtungsschicht, Drainageschicht, Untere Dichtungsschicht, Binderschicht |
| Untergrund | |
| Dichtungsaufbau | |
| Stärke | 9 cm obere Dichtungsschicht Asphaltbeton, 12 cm Drainschicht, 6 cm untere Dichtungsschicht |
| Größtkorn | |
| Bitumenart | |
| Binderaufbau | |
| Stärke | 8 cm |
| Größtkorn | |
| Bitumenart | |
| Sonstiges | |
| Einbau | |
| Gerätschaften | Strabag Windenportal WP1 Böschungsfertiger Zubringerwagen 15T Bagger Windenwagen Walzen |
| Überwachung | |
| Überwachung (eigen/fremd) | Strabag |
| Sonstige Kontrollen | |
| Sonstige | |
| Betriebserfahrungen | |
| Kostenrahmen | |
| Bemerkung | |

16 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden die einzelnen Alterungsmechanismen von Bitumen und somit von Asphaltbeton erläutert und versucht wissenschaftliche Begründungen zu finden. Wenn die Alterungsmechanismen einzeln betrachtet werden, können diese relativ einfach mit diversen Methoden und Test nachgewiesen und abgebildet werden. Schwieriger wird es, wenn aus der Vielzahl der einzelnen Abläufe eine globale Aussage zum Thema Alterung getroffen werden sollte. Um festzustellen, welche Bitumensorten überhaupt auf Versprödung im Zuge der Alterung von Interesse sind wurden neun Speicher beziehungsweise Dämme mit einer Oberflächendichtung ausgewählt, welche sich stark nach Ihrer Exposition unterscheiden (siehe Diagramm 14 und Tabelle 14). Um die Alterung besser verstehen und vorhersagen zu können wurde die RTFOT und PAV Methode entwickelt. Mit diesen Test kann die Alterung von Bitumen im Labor simuliert werden. Nach der Betrachtung der Versuchsabläufe und diverser Versuchsreihen ist im Wasserbau die RTFOT Alterung sinnvoll anzuwenden, jedoch nicht die PAV Methode. Mit Hilfe des RTFOT kann die Kurzzeitalterung zielführend und mit hoher Aussagewahrscheinlichkeit abgebildet werden (Kurzzeitalterung 10.1.3.1). Durch die Betrachtung von Oberflächendichtungen über den Lebenszyklus konnte festgestellt werden, dass die Einwirkungen von Umwelteinflüssen die Alterung nur in einem sehr geringen Maße beeinflussen und beschleunigen können. Nach Interpretation der Ergebnisse und ausführlicher Befassung mit dieser Problematik möchte ich diesen Anteil mit zirka 20 % beziffern. Die übrigen 80 % der Alterung geschehen bereits bis zur Fertigstellung der Dichtung. Zu diesem Punkt möchte ich speziell die Alterung im Zuge der Herstellung des Asphaltbetons im Mischer, den Transport zum Einbauort und den Einbau erwähnen (siehe 6.1.6). In Abhängigkeit der Bitumensorte wird das Bindemittel bei Temperaturen von bis zu 150 °C geliefert. Beim Umfüllen vom Tankwagen in den Vorratstank bei der Mischanlage kommt das Bitumen mit Sauerstoff aus der Luft in Berührung. Spätestens ab diesem Moment beginnt die Alterung durch Oxidation. Da die Oxidation ein chemischer Prozess ist und mit steigender Temperatur schneller abläuft, ist ab der Lagerung in der Mischanlage die Temperatur des Bitumens zu regeln (Temperaturbereiche Tabelle 4). Da die Dichtungen oft in sehr exponierten Lagen herzustellen sind, lassen sich meist längere Transportwege nicht gänzlich vermeiden. Hier ist es unbedingt notwendig den Asphaltbeton in geschlossenen LKWs zu transportieren, da ansonsten durch den Fahrtwind die Oxidation und die Abkühlung des Mischgutes verstärkt wird. Da der Asphaltbeton nur bei einer bestimmten Temperatur verarbeitbar ist, wird teilweise der Fehler gemacht, dass das Bitumen oder die Mineralstoffe in der Mischanlage zu stark erhitzt werden, um das Mischgut mit entsprechender Temperatur beim Fertiger anzuliefern. Dies ist ebenfalls ein Grund für eine starke Alterung. Mit Hilfe des RTFOT Tests kann die „Kurzzeitalterung“ im Labor simuliert werden und somit sind diese Vorgänge, welche sich negativ auf die Gebrauchstauglichkeit auswirken im Punkt 10.1.4 mit Daten belegt.

16.1 Schlussfolgerung

Diese Umstände erlauben den Schluss, welcher im Kapitel 7.1.3 durch Daten von Messungen und Laboruntersuchungen untermauert wird, dass zirka 80% der Alterung des Bindemittels beim Mischen, Transport und Einbau der Dichtung verursacht werden. Dies wurde im Labor mit dem RTFOT für PmB bestätigt (siehe Diagramm 12). Somit bleiben 20% der Gesamtalterung übrig, welche durch die beschriebenen Einflussfaktoren (Kapitel 4.2) verursacht werden. Aus diesen Zusammenhängen ist es von Vorteil, ein Bindemittel zu wählen, welches gemeinsam mit den Zuschlagsstoffen gute Verarbeitungseigenschaften aufweist und bei dem Erfahrungen für den Einbau vorliegen, da bei diesem Schritt die Langlebigkeit der Dichtung maßgeblich bestimmt wird.

17 Literaturverzeichnis

- [1]. **Energie, Österreich.** *Richtlinie für Arbeiten im Asphaltwasserbau.* April 2013.
- [2]. **J., Seidel.** *Asphaltwasserbau Speicherbecken - Verfahrenstechniken für Asphalt dichtungen Rückblick auf ausgeführte Projekte.* 1996.
- [3]. **E., Schönian.** *The Shell Bitumen Hydraulic Engeneering .* 1999.
- [4]. **H.P. Pfiffner.** *Asphaltwasserbau.* Zürich/Schweiz : Walo Bertschinger AG , 2003.
- [5]. **Deutsche Gesellschaft für Geotechnik.** *Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau.* 2008.
- [6]. **Egloffstein, Gerd Burkhardt Thomas.** *Asphaltdichtungen im Deponiebau.* Malsheim : Renningen Malsheim, 1995. ISBN 3-8169-1296-6.
- [7]. **ÖNORM EN 12597.** *Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Terminologie.* 2012-05-15.
- [8]. **BSc, Markus Hospodka.** *Alterungsmechanismen von Bitumen und Simulation der Alterung im Labor.* Wien : s.n., 2013.
- [9]. **ÖNORM EN 1426.** 2007 06 01.
- [10]. **(unveröffentlicht), TU Wien.** *Protokoll zum 9. Jour Fixe im Projekt "Ökophalt".* 2013.
- [11]. **Vollenschaar, G. Neroth und D. Wendehorst** *Baustoffkunde.* Wiesbaden, Deutschland : Vieweg+Teubner Verlag, 2011.
- [12]. **Lesueur, D.** *The colloidal structure of bitumen: Consequences on the reology and on the mechanisms of bitumen modification.* Madrid, Spanien : s.n., 2009.
- [13]. *Wendehorst Baustoffkunde - Grundlagen, Baustoffe, Oberflächenschutz.*
- [14]. **Lanschützer, Joachim.** *Statisches Kriechverhalten von bituminösen Werkstoffen.* Wien : s.n., 2007.
- [15]. **Straube, E. und Krass, K.** *Straßenbau und Straßenbauerhaltung.* Berlin : Erich Schmidt Verlag, 2005. ISBN 3-503-09067-3.
- [16]. **ÖNORM EN 1426.** *Bitumen und bitumenhaltiges Bindemittel - Bestimmung der Nadelpenetration.* 2013-10-15.
- [17]. **ÖNORM EN 1427.** *Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung des Erweichungspunktes - Ring- und Kugel - Verfahren.* 2013-10-15.
- [18]. **ÖNORM EN 12593.** *Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung des Brechpunktes nach Fraaß.* 2013-10-15.
- [19]. **ÖNORM EN 12697 - 12.** *Asphalt - Prüfverfahren für Heißasphalt - Bestimmung der Wasserempfindlichkeit von Asphalt-Probekörpern.* 2008-11-01.
- [20]. **ÖNORM EN 13398.** *Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der elastischen Rückstellung von modifiziertem Bitumen.* 2010-07-01.

- [21]. ÖNORM EN 13399. *Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der Lagerbeständigkeit von modifiziertem Bitumen*. 2010-07-15.
- [22]. IPA. *Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung*. [Online] <http://www.ipa.ruhr-uni-bochum.de/publik/info0202/bitumen.php>.
- [23]. **Deponiebau, Walo Bertschinger AG Abteilung Damm- und Asphaltwasserbau** . 2003/2011.
- [24]. **Litzka, J., et al.** *Gebrauchsverhaltensorientierte Bitumenprüfung, Mitteilungen des institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung Heft 9*. Wien : Technisches Universität Wien, 1998.
- [25]. ÖNORM EN 13043. *Gesteinskörnungen für Asphalt und Oberflächenbehandlungen für Straßen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen*. 2002-11.
- [26]. ÖNORM EN 12697-1. *Asphalt - Prüfverfahren für Heißasphalt - Teil 1: Löslicher Bindemittelgehalt* . 2012-09.
- [27]. ÖNORM EN 12697 - 3. *Asphalt - Prüfverfahren für Heißasphalt - Teil 3: Rückgewinnung des Bindemittels: Rotationsverdampfer*. 2005 - 04.
- [28]. **Anhalt, Hochschule**. *Entwicklung eines Verfahrens zur Bindemittelrückgewinnung nach Asphaltextraktion mit alternativen Lösemitteln aus nachwachsenden Rohstoffen*. Deutschland Dessau - Roßlau : s.n., 2012 - 06.
- [29]. ÖNORM EN 12607 - 1. *Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft - Teil 1: RTFOT - Verfahren*. 2007 - 06.
- [30]. ÖNORM EN 14771. *Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der Biegebiegefestigkeit - Biegebalkenrheometer (BBR)*. 2012 - 08.
- [31]. DIN 52013. *Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der Duktilität*. 2007 - 06.
- [32]. ÖNORM EN 13108 - 1. *Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Teil 1: Asphaltbeton*. 2006 - 06.
- [33]. ÖNORM EN 13108 - 7. *Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Teil 5: Splittmastixasphalt* . 2006 - 08.
- [34]. ÖNORM EN 13302. *Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der dynamischen Viskosität von bitumenhaltigen Bindemitteln mit einem Viskosimeter mit rotierender Spindel*. 2010 - 06.
- [35]. ÖNORM EN 14023. *Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Rahmenwerk für die Spezifikation von polymermodifizierten Bitumen*. 2010 - 11.

[36]. ÖNORM EN 14769. *Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Beschleunigte Langzeitalterung mit einem Druckalterungsbehälter (PAV)*. 2012 - 08.

[37]. **Isacsson und Lu.** *Chemical and rheological evaluation of aging properties of SBS polymer modified bitumens*, Vol. 77 No. 9/10. Stockholm, Schweden : s.n., 1998.

18 Anhang

| Name | Land | Baujahr | Stauraumvolumen | Dammhöhe | Dammkronenlänge | Böschungeneigung Wasser/Luft | Dichtungstyp | Dichtungskonstruktion und Baustoffe |
|--|-------|---------------------|-----------------|----------|-----------------|-----------------------------------|--|--|
| Hochspeicher Rabenleite | DE | 1953 | 1,5 Mio m³ | 20 m | 1450 m | 1:2,5 / 1:2,5 | Bituminöse Dichtungsbahnen, Betonplatten | Sohle: Mämmuthaut, beste hend aus 3 Lagen mit Lederpappe und Glasvliesbahn Böschung: Betonplatten, 7x7 m, 20 cm dick |
| Geesthacht - Oberbecken | DE | 1956/1957 | 3,3 Mio m³ | 16 m | 2000 m | 1:2,5/1:3,5 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 2 lagig, d=2x3 cm, Böschung: 2 lagig, d=2x3,5 cm |
| Schwarzach - Oberbecken | AUT | 1957/1958 | 1,5 Mio m³ | 26-34 m | 1340 m | 1:1,75/1:1,75 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 2 lagig, d=2x6 cm, Böschung: 2 lagig, d=2x6 cm |
| Talvera | IT | 1959 | 0,12 Mio m³ | 5 m | - | 1:1,75/1:1,75 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 2 lagig, d=2x3,5 cm, Böschung: 2 lagig, d=2x3,5 cm |
| Valdurn | IT | 1959 | 0,04 Mio m³ | 6 m | - | 1:1,75/1:1,75 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 2 lagig, d=2x3,5 cm, Böschung: 2 lagig, d=2x3,5 cm |
| Leitzach - Ausgleichsbecken | DE | 1959/1960 | 0,6 Mio m³ | 6 m | - | 1:1,75/1:1,75 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: Mastix - Eingussdecke auf Bitumenkiesunterlage |
| Vianden - Oberbecken I | LUX | 1960/1962 | 3,1 Mio m³ | 19 m | 2300 m | 1:1,75/1:1,5 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 1 lagig, d= 6 cm, Böschung: 2 lagig, d= 2x3,5 cm |
| Vianden - Oberbecken II | LUX | 1962/1963 | 3,9 Mio m³ | 19 m | 2000 m | 1:1,75/1:1,5 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 1 lagig, d= 6 cm, Böschung: 2 lagig, d= 2x3,5 cm |
| Wagspeicher Hiefrau | AUT | 1962/1963 | 1,8 Mio m³ | 12 m | - | 1:1,75/1:1,75 bis 1:2,0 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 1 lagig, d= 5 cm, Böschung: 1 lagig, d=6 cm, beide mit Bitumenrandröhrenschrift |
| Glems - Oberbecken | DE | 1963/1964 | 0,8 Mio m³ | 21 m | 1000 m | 1:1,75/1:2,25 | Asphaltbetonaußendichtung/kontrolliert | Sohle: 1 lagig, d= 5 cm, Böschung: 1 lagig, d=7 cm |
| Eggberg - Oberbecken | DE | 1964/1965 | 2,0 Mio m³ | 35 m | 1340 m | 1:1,75/1:2,0 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 1 lagig, d= 5 cm, Böschung: 1 lagig, d=7 cm |
| Coop - Trois Points - Oberbecken I | BEL | 1967/1969 | 4,0 Mio m³ | 28 m | 1750 m | 1:2,0/1:2,0 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 1 lagig, d= 5 cm, Böschung: 1 lagig, d=6 cm |
| Oglaastro | IT | 1970 | 4,6 Mio m³ | 21 m | 750 m | 1:2,0/1:2,1 | Asphaltbetonaußendichtung | nur Böschung 1 lagig, d= 6 cm |
| Higashi Fuji | JP | 1970 | 1,3 Mio m³ | 22 m | 1000 m | 1:3,0/1:2,5 | Asphaltbetonaußendichtung | nur Böschung 2 lagig, d= 2x5 cm |
| River Towy Scheme - Felindre Reservoir | GB | 1971 | 0,1 Mio m³ | 10 m | 640 m | 1:2,0 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 1 lagig, d=6,35 cm, Böschung: 1 lagig, d=6,35 cm |
| Ludington - Oberbecken | USA | 1971/1972 | 100 Mio m³ | 32 m | 8931 m | 1:2,5/1:2,5 | Asphaltbetonaußendichtung/kontrolliert | nur Böschung 2 lagig, d=2x6,35 cm auf nicht bituminöser Drainschicht |
| Waldeck II - Oberbecken | DE | 1972/1973 | 4,1 Mio m³ | 25 m | 3084 m | 1:1,75/1:1,75 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 1 lagig, d= 7 cm, Böschung: 1 lagig, d=7 cm |
| Mornos Projekt/Pymos - Hangdichtung | GR | 1975/1977 | 780 Mio m³ | 79 m | 815 m | 1:2,0 | Asphaltbetonaußendichtung | Böschung 2 lagig, d=2x6 cm |
| Coop - Trois Points - Oberbecken II | BEL | 1975/1978 | 4,3 Mio m³ | 51 m | 1750 m | 1:2,0/1:2,0 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 1 lagig, d= 5 cm, Böschung: 1 lagig, d=6 cm |
| Merchtrenk - Traunkraftwerke | AUT | 1977/1978 | - | 12 m | 98 m | 1:1,5 | Asphaltbetonaußendichtung | 1 lagig, d= 7 cm |
| Pucking - Traunkraftwerke | AUT | 1981/1982 | - | 15 m | 101 | 1:1,5 | Asphaltbetonaußendichtung | 1 lagig, d= 7 cm |
| Geeste | DE | 1984/1986 | 23 Mio m³ | 15 m | 5818 m | 1:3,0/ variabel bis 1:5 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 1 lagig, d= 7 cm, Böschung: 1 lagig, d=7 cm |
| Cesima - Oberbecken | IT | 1985/1987 | 6,2 Mio m³ | 30 m | 285 m | 1:2,0 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 1 lagig, d= 8 cm, Böschung: 1 lagig, d=8 cm |
| Cortes - La Muela | SP | 1986/1988 | 25 Mio m³ | 30 m | 4500 m | 1:1,4/1:1,6 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 1 lagig, d= 7 cm auf 6 cm Binder, Böschung: 1 lagig, d= 7 cm auf 7 cm Binder |
| Hils AG | DE | 1988 | 0,05 Mio m³ | 5 m | 50 m | 1:2,3 | Asphaltbeton / Geotextil | 1 lagig, d= 7 cm |
| Gorleben | DE | 1988/1989 | 0,05 Mio m³ | 4 m | - | 1:2,0 | Asphaltbetonaußendichtung | 2 lagig, d= 2x 8 cm |
| Lentini | IT | 1988/1989 | 23 Mio m³ | 33 m | 9000 m | 1:1,8 | Asphaltaußendichtung/kontrolliert | 2 lagig, d= 2x 6 + 8 cm auf bituminöser Drainschicht |
| El Federal | SP | 1991/1992 | 1 Mio m³ | 17 m | 1000 m | 1:2,5/1:2,0 | Asphaltbetonaußendichtung | 1 lagig, d= 6 cm auf 6 cm Binder |
| Langenprozeiten - Unterbecken | DE | 1974/1975 reg. 1991 | 1,86 Mio m³ | 30 m | 230 m | 1:2,0 bis 1:3,0/ 1:1,15 bis 1:2,0 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 1 lagig, d= 5 cm, Böschung: 1 lagig, d= 7 cm |
| Langenprozeiten - Oberbecken | DE | 1974/1975 reg. 1992 | 1,57 Mio m³ | 17 m | 1311 m | 1:2,0/1:2,0 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 1 lagig, d= 5 cm auf Bitumenbinder, Böschung: 1 lagig, d= 7 cm auf Bitumenbinder |
| Las Yeguas | SP | 1992/1993 | 0,25 Mio m³ | 18,5 m | 200 m | 1:1,8 | Asphaltaußendichtung | 1 lagig, d= 6 cm auf 6 cm Binder |
| Hochspeicher Rabenleite | DE | 1953 reg. 1994 | 1,5 Mio m³ | 20 m | 1450 m | 1:1,85/1:2,5 | Asphaltbetonaußendichtung | Sohle: 1 lagig, d= 8 cm auf Asphaltbinder, Böschung: 1 lagig, d= 8 cm auf Asphaltbinder |
| Dürrlohspeicher | DE | 1994/1996 | 1,75 Mio m³ | 10 m | 1946 m | 1:2,5/1:3,0 | Asphaltbetonaußendichtung/kontrolliert | Sohle: 1 lagig, d= 8 cm, Böschung: 1 lagig, d= 8 cm |
| Tianhuangjing - Oberbecken | CHINA | 1995/1997 | 9 Mio m³ | 72 m | 2316 m | 1:2,0, 1:2,4/1:2,0, 1:2,2 | Asphaltbetonaußendichtung | Böschung: 1 lagig, d= 10 cm auf 10 cm Binder, Sohle: 1 lagig, d= 10 cm auf 8 cm Binder |
| Ausgleichsbecken Pradella | SUI | 1992/93 | 0,26 Mio m³ | 11,6 m | - | 1: 1,7 - 1,8 | Asphaltbetonaußendichtung | Böschung: 8 cm, Sohle: 8 cm |
| Yalde Dam | SP | 2002 | 6 Mio m³ | 53 m | - | 1: 1,6 | Asphaltbetonaußendichtung | Böschung: 7,5 cm |
| Nagold Talsperrre | DE | 2002 | 5 Mio m³ | 32 m | - | 1: 1,2 | Asphaltbetonaußendichtung | Böschung: 7 cm |