

Haftfähigkeit von Bitumenbahnen am Untergrund befahrbarer Tragwerke

Enrico Eustacchio, TU Graz

1. Einleitung

Einleitend soll festgehalten werden, was man – zumindest nach gängigen Regelwerken – unter einer Abdichtung versteht.

In allgemeiner Form *Schutz einer Konstruktion oder eines Konstruktionsteile gegen den Zutritt von Wasser und anderen Stoffen [1] oder Maßnahmen, um das Eindringen von Wasser von einer Ebene in eine andere zu verhindern [2]*

Wenn wir uns auf die Abdichtung von Verkehrsflächen beziehen, sei auf die Begriffsbestimmung der RVS 15.03.12 (Entwurf 2014) verwiesen [3]:

Abdichtungssystem

Anordnung von Polymerbitumenbahnen oder einer flüssig aufzubringenden Dichtungsschicht zwischen dem Untergrund (oder einer anderen Verkehrsfläche aus Beton) und dem Fahrbahnaufbau

Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für den konstruktiven Aufbau gemäß dieser RVS:

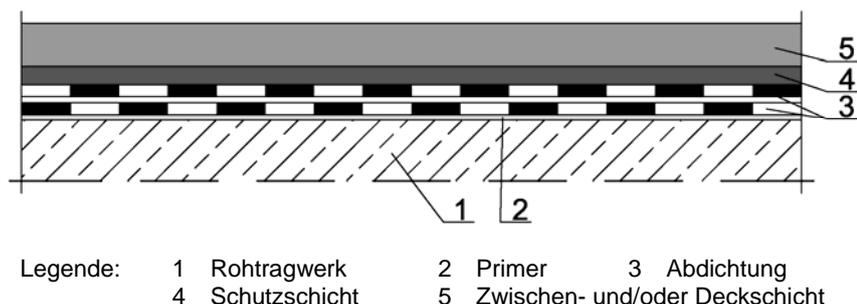


Abb. 1: Aufbau einer zweilagigen Brückenabdichtung

Es handelt sich also um ein komplexes System, wobei die Funktionsfähigkeit des Systems vom Zusammenwirken mehrerer Komponenten abhängt.

Um die tatsächlichen **Qualitätskriterien für Abdichtungen** zu finden, gibt es drei wesentliche Voraussetzungen:

1. Kenntnis der tatsächlichen Einflüsse auf die Abdichtung. Daraus lassen sich Anforderungen ableiten.
2. Auswahl bestehender oder Entwicklung neuer Prüfverfahren, die signifikant für die relevanten Einflüsse sind.
3. Festlegung der Parameter und Eigenschaften der Grundmaterialien, von denen die ermittelten Anforderungen an die Abdichtung abhängen.

2. Bauwerk und Bauprodukt aus der Sicht der BPV

Hier sei mir ein Exkurs auf die Europäische Bauproduktenverordnung (BPV) erlaubt. In ihr werden die **Grundanforderungen an Bauwerke** wie folgt definiert:

Bauwerke müssen als Ganzes und in ihren Teilen für deren Verwendungszweck tauglich sein, wobei insbesondere der Gesundheit und der Sicherheit der während des gesamten Lebenszyklus der Bauwerke involvierten Personen Rechnung zu tragen ist. Bauwerke müssen diese Grundanforderungen an Bauwerke bei normaler Instandhaltung über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum erfüllen.

1. Mechanische Festigkeit und Standsicherheit

Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass die während der Errichtung und Nutzung möglichen Einwirkungen keines der nachstehenden Ereignisse zur Folge haben:

- a) Einsturz des gesamten Bauwerks oder eines Teils,*
- b) größere Verformungen in unzulässigem Umfang,*
- c) Beschädigungen anderer Teile des Bauwerks oder Einrichtungen und Ausstattungen infolge zu großer Verformungen der tragenden Baukonstruktion,*
- d) Beschädigungen durch ein Ereignis in einem zur ursprünglichen Ursache unverhältnismäßig großen Ausmaß.*

2. Brandschutz

Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass bei einem Brand

- a) die Tragfähigkeit des Bauwerks während eines bestimmten Zeitraums erhalten bleibt;*
- b) die Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Bauwerks begrenzt wird;*
- c) die Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauwerke begrenzt wird;*
- d) die Bewohner des Bauwerk unverletzt verlassen oder durch andere Maßnahmen gerettet werden können;*
- e) die Sicherheit der Rettungsmannschaften berücksichtigt ist.*

3. Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz

Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass es während seines gesamten Lebenszyklus weder die Hygiene noch die Gesundheit und Sicherheit von Arbeitnehmern, Bewohnern oder Anwohnern gefährdet und sich über seine gesamte Lebensdauer hinweg weder bei Errichtung noch bei Nutzung oder Abriss insbesondere durch folgende Einflüsse übermäßig stark auf die Umweltqualität oder das Klima auswirkt:

- a) Freisetzung giftiger Gase;*
- b) Emission von gefährlichen Stoffen, flüchtigen organischen Verbindungen, Treibhausgasen oder gefährlichen Partikeln in die Innen- oder Außenluft;*
- c) Emission gefährlicher Strahlen;*
- d) Freisetzung gefährlicher Stoffe in Grundwasser, Meeresgewässer, Oberflächengewässer oder Boden;*
- e) Freisetzung gefährlicher Stoffe in das Trinkwasser oder von Stoffen, die sich auf andere Weise negativ auf das Trinkwasser auswirken;*
- f) unsachgemäße Ableitung von Abwasser, Emission von Abgasen oder unsachgemäße Beseitigung von festem oder flüssigem Abfall;*
- g) Feuchtigkeit in Teilen des Bauwerks und auf Oberflächen im Bauwerk.*

4. Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung

Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass sich bei seiner Nutzung oder seinem Betrieb keine unannehmbaren Unfallgefahren oder Gefahren einer Beschädigung

ergeben, wie Gefahren durch Rutsch-, Sturz- und Aufprallunfälle, Verbrennungen, Stromschläge, Explosionsverletzungen und Einbrüche. Bei dem Entwurf und der Ausführung des Bauwerks müssen insbesondere die Barrierefreiheit und die Nutzung durch Menschen mit Behinderungen berücksichtigt werden.

5. Schallschutz

Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass der von den Bewohnern oder von in der Nähe befindlichen Personen wahrgenommene Schall auf einem Pegel gehalten wird, der nicht gesundheitsgefährdend ist und bei dem zufrieden stellende Nachtruhe-, Freizeit- und Arbeitsbedingungen sichergestellt sind.

6. Energieeinsparung und Wärmeschutz

Das Bauwerk und seine Anlagen und Einrichtungen für Heizung, Kühlung, Beleuchtung und Lüftung müssen derart entworfen und ausgeführt sein, dass unter Berücksichtigung der Nutzer und der klimatischen Gegebenheiten des Standortes der Energieverbrauch bei seiner Nutzung gering gehalten wird. Das Bauwerk muss außerdem energieeffizient sein und während seines Auf- und Rückbaus möglichst wenig Energie verbrauchen.

7. Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen

Das Bauwerk muss derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und insbesondere Folgendes gewährleistet ist:

- a) Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss wiederverwendet oder recycelt werden können;
- b) das Bauwerk muss dauerhaft sein;
- c) für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.

Damit die Bauwerke diese Anforderungen erfüllen können, müssen die eingesetzten Bauprodukte entsprechend konzipiert sein. Die formale Umsetzung dieser Anforderungen erfolgt durch Mandate (= Aufträge) der Europäischen Kommission an das CEN, Produktnormen auszuarbeiten, die dies berücksichtigen. Für den Bereich der Abdichtung von Brücken und anderen Verkehrsflächen aus Beton ist dies das **Mandat M 124 „Produkte für den Straßenbau“**, in dem auch Bitumen, Asphalt und Nebenprodukte für Betonstraßen (Dübel, Fugenmassen) erfasst sind.

Die Umsetzung der Grundanforderungen 1 (Mechanische Festigkeit und Standsicherheit) und 4 (Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung) wird in M 124 durch folgende Eigenschaften festgelegt:

- Wasserdichtigkeit
- Widerstandsfähigkeit gegen Formänderung (einschließlich
- Temperaturabhängigkeit)
- Höchstzugfestigkeit und -dehnung (für Membranen)
- Verbundfestigkeit
- Widerstandsfähigkeit gegen Chloridionenpenetration
- Fugenfestigkeit
- Widerstandsfähigkeit gegen dynamische Beanspruchung
- Fähigkeit, in die Poren des Substrats einzudringen (bei Harzen und Primer)
- Rissbildungsvermögen (für Betonbrückentafeln)
- Kompatibilität (einschließlich Dicke, je nach Verwendung)
- Kaltbiegeverhalten
- Scherfestigkeit
- Beständigkeit gegen Wärmeeinwirkung
- Perforationsfestigkeit

Hinsichtlich der Dauerhaftigkeit wird – soweit relevant – auf die *Beständigkeit gegenüber Alterung, Öl, Chemikalien, Verwitterung, Alkali, Korrosion, Enteisung etc.* verwiesen.

Wie erwähnt, sind diese Anforderungen in der Produktnorm zu berücksichtigen. In unserem Fall ist dies die **EN 14695 „Abdichtungsbahnen - Bitumenbahnen mit Trägereinlage für Abdichtungen von Betonbrücken und andere Verkehrsflächen aus Beton – Definitionen und Eigenschaften“**. In Tabelle ZA.1 wird der Nachweis über folgende Leistungsmerkmale gefordert:

Tabelle 1

Leistungsmerkmal		Prüfnorm	Nachweis
Wasserdichtheit	Dichtheit am System	EN 14694	Bestanden
	Wasseraufnahme	EN 14223	MLV
Zug- Dehnungs-Verhalten		EN 12311-1	MDV
Abreißfestigkeit		EN 13596	MLV
Rissüberbrückungsfähigkeit		EN 14224	MLV
Verträglichkeit		EN 14691	MLV
Kaltbiegeverhalten		EN 1109	MLV
Schubfestigkeit		EN 13653	MLV
Hitzebeständigkeit		EN 14693	MLV
Widerstand gegen Perforation (Verdichtung)		EN 14692	Bestanden
Dauerhaftigkeit	Wasseraufnahme	EN 14223	MLV
	Thermisches Alterungsverhalten	EN 1107-1	MDV
	Verträglichkeit durch Hitzealterung	EN 14691	MLV
Gefährliche Stoffe	Nachweis gemäß nationalen Anforderungen		

MLV: Erklärter Grenzwert des Herstellers, der nicht unter- oder überschritten werden darf.

MDV: Erklärter Wert des Herstellers, der einzuhalten ist.

Es ist/wäre somit Aufgabe des Mandats und der Normung, die anfänglich skizzierten Qualitätskriterien für Abdichtungen in Bezug auf die einwirkenden Beanspruchungen abzudecken.

Die Qualität der Abdichtung hängt aber nicht nur von der Qualität der eingesetzten Produkte sondern auch vom Gesamtsystem ab. Die Abdichtungsqualität umfasst insgesamt folgende Einzelaspekte:

- Qualität der Planung
- Qualität der eingesetzten Produkte
- Qualität der Verarbeitung
- Qualität des Langzeitverhaltens

3. Beanspruchungen auf Abdichtungen

Die Beanspruchungen auf die Abdichtung lassen sich grob in 4 Gruppen zusammenfassen:

- Mechanische Einflüsse
 - Aus dem Brückentragwerk
 - Vibrationen
 - Verkehrsbelastung
 - Thermische Veränderungen des Tragwerks

- Einflüsse durch Wasser und Feuchtigkeit
 - Aus atmosphärischem Wasser
 - Eis- und Frostwirkungen
 - Wasserdruck
 - Brauchwasser
- Energetische Einflüsse
 - Alterungsprozesse
 - Chemische Änderungen
 - Aufwärm- und Kühleffekte
- Biologische Einflüsse
 - Wurzelbildung

In Hinblick auf das Thema „Haftfähigkeit von Bitumenbahnen am Untergrund befahrbarer Tragwerke“ ist sicherlich zu klären, durch welche der angeführten Beanspruchungen die Haftfähigkeit beeinflusst wird. In erster Linie sind dies die mechanischen Beanspruchungen vor allem aus dem Verkehr.

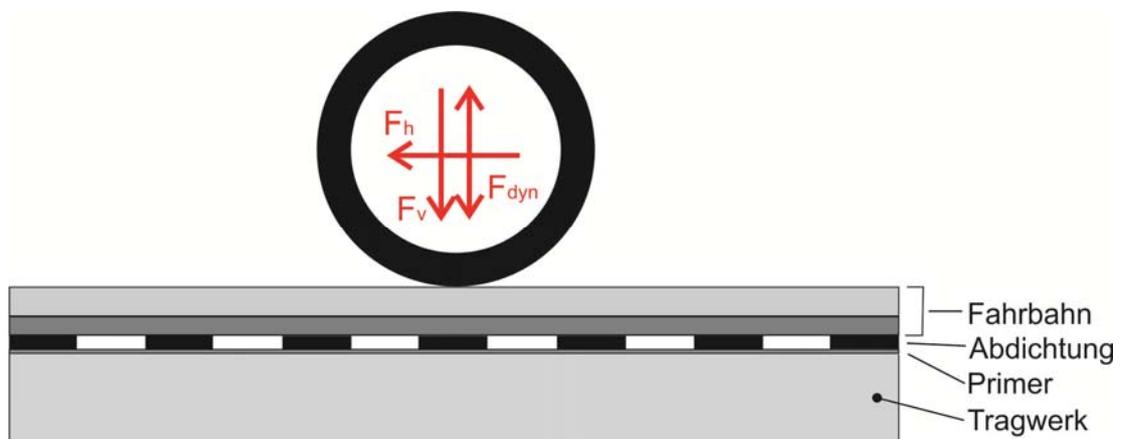


Abbildung 2: Verkehrsbeanspruchungen

Abbildung 2 zeigt, welche direkten Beanspruchungen aus dem Verkehr auf die Fahrbahn einwirken. Es sind dies die Vertikallasten aus dem Fahrzeuggewicht, horizontale Belastungen aus Bremsen und Seitenbeschleunigungen sowie überlagert vor allem in vertikaler Richtung dynamische Kräfte. Es können auch vom Fahrzeugreifen verursachte Sogkräfte auf die Fahrbahn einwirken, die sich aber nur zu einem eher geringen Ausmaß bis zur Abdichtungsebene auswirken. Die auf die Fahrbahnoberfläche einwirkenden Kräfte werden selbstverständlich bis zur Tragwerksoberseite weitergeleitet und müssen in der Folge von den Auflagern aufgenommen werden. Das heißt, dass jede Schicht zwischen Fahrbahn und Tragwerk mechanisch beansprucht wird. Abbildung 3 zeigt die Spannungen, die auf jede Schicht einwirken. Getrennt nach Art sind die einwirkenden Schubspannungen bzw. die (Haft-)Zugspannungen in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt.

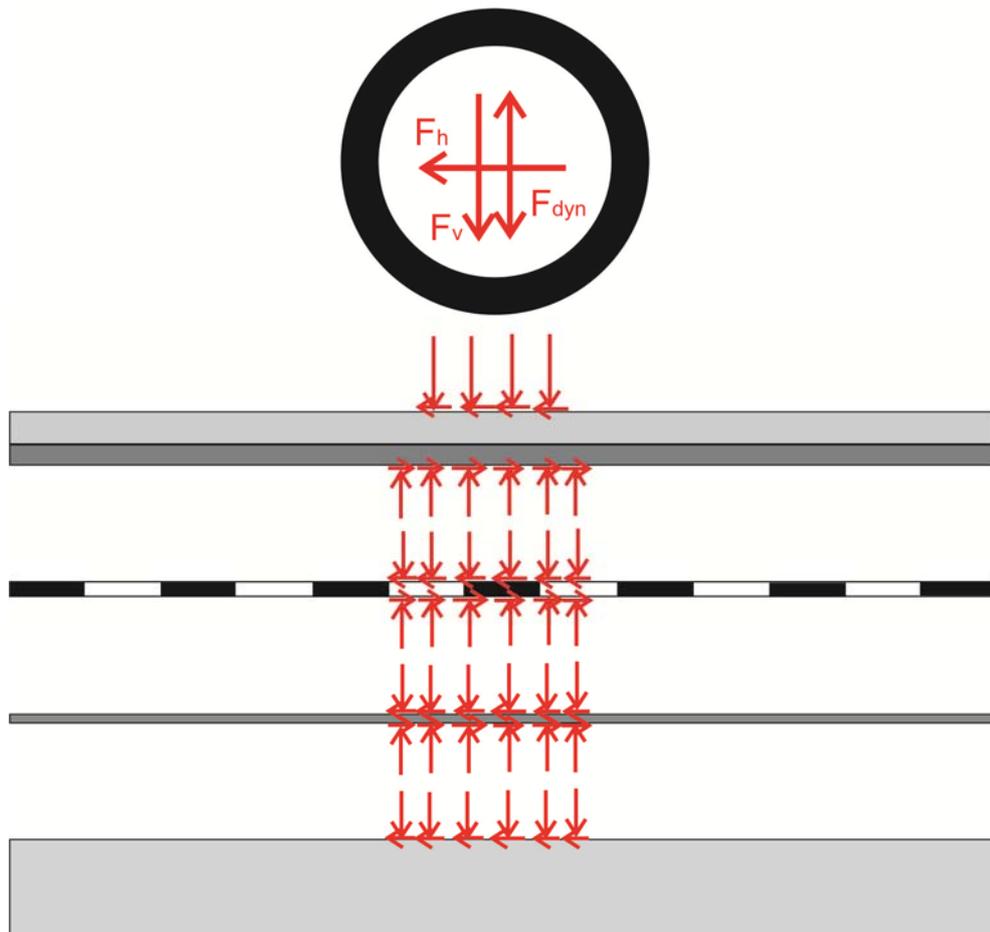


Abbildung 3: Beanspruchungen der einzelnen Schichten



Abbildung 4 und 5: Schub- bzw. Haftzug-Beanspruchungen der einzelnen Schichten

Um Anforderungen an die Schubfestigkeit bzw. die Abreißfestigkeit festzulegen, ist – wie schon früher erwähnt – die Kenntnis der Größe der auftretenden Beanspruchungen erforderlich. Aus den einwirkenden Verkehrslasten allein lassen sich aber die auftretenden Spannungen praktisch nicht errechnen. Als in den 70iger Jahren die erste RVS für Brückenabdichtungen erarbeitet wurde, hat man in einigen aufwändigen Forschungsprojekten einerseits den Ist-Zustand erhoben und andererseits die Merkmale erhoben, die funktionsfähige Abdichtungssysteme aufwiesen. Gleichzeitig hat man neue Prüfmethoden entwickelt und durch In-situ-Untersuchungen Jahres-Temperaturverläufe und tatsächliche Beanspruchungen erhoben. So wurden an einer damals in

Bau befindlichen Brücke in Graz speziell hierfür entwickelte Messzellen eingebaut, um die Schubkräfte zu ermitteln. Abbildung 6 zeigt den Aufbau dieser Messzelle, in den Abbildungen 7 und 8 sind die beim Bremsen von Pkws bzw. LKWs gemessenen Schubkräfte dargestellt. Auf dieser Basis konnte in der 1978 in Kraft getretenen RVS 15.361 die Anforderungen an die Schubfestigkeit festgelegt werden. Bei den Anforderungen an die Haftzugfestigkeit (heute in der Europäischen Norm als Abreißfestigkeit bezeichnet) hat man sich schwerer getan, da die auftretenden Beanspruchungen nur indirekt aus der Verkehrsbeanspruchung verursacht werden. In den Abbildungen 7 und 8 sieht man zwar, dass beim Bremsen zeitlich versetzt Schubkräfte in und gegen die Fahrtrichtung auftreten, bei den Vertikalkräften wurden aber nur Druckspannungen gemessen. Bei der Festlegung von Anforderungen hat man daher auf die Ergebnisse von Haftzugversuchen gut liegender Abdichtungen aufgebaut.

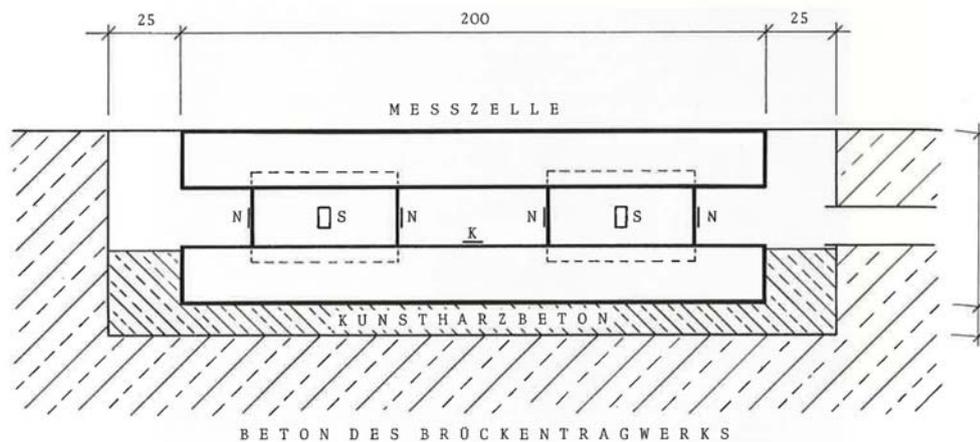


Abbildung 6: Messzelle zur Messung der Schubkräfte

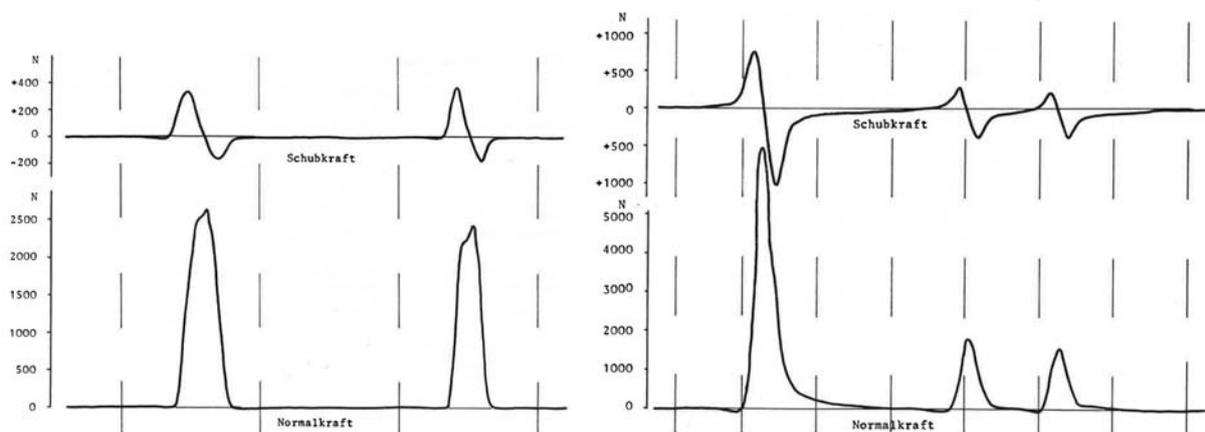


Abbildung 7 und 8: Schubkräfte infolge PKW- bzw. LKW-Beanspruchung

4. Grundlagen des Haftverhaltens

Wie man deutlich sehen kann, unterliegen einerseits die einzelnen Schichten der jeweiligen Schub- bzw. Zugbeanspruchung, die Übertragung der Spannungen erfolgt aber über die Grenzflächen. Dies bedeutet, dass in diesen Flächen entsprechende Haftkräfte vorliegen müssen. Dies bezieht sich aber nicht nur auf mechanische Beanspruchungen aus Verkehr und dynamischen Einwirkungen aus dem Tragwerk, sondern auch gegenüber Einflüssen, die ein Ablösen der Abdichtung von der Tragwerksoberfläche bzw. der Grundierung zur Folge haben.

4.1 Prüfung der Schub- und der Abreißfestigkeit

Als wesentliche Kriterien für das Haftverhalten einer Abdichtung sind die Schubfestigkeit und die Haftzugfestigkeit anzusehen.

Die Prüfung der **Schubfestigkeit** ist in der ÖNORM EN 13653 geregelt und erfolgt wegen der geringen Auslenkung von der Belastungsrichtung unter relativ geringen Normalkräften (s. Abb. 9). Im Gegensatz dazu erfolgt bei der früheren Prüfung gemäß RVS 15.03.12 die Schubbeanspruchung bei einer hohen Normalkraft (s. Abb. 10). Dies hat berücksichtigt, dass Schubkräfte durch Bremsen oder Seitenbeschleunigung nur gleichzeitig mit der Vertikallast des Rades auftreten. Die Prüfungen an der Augartenbrücke in Graz haben dies auch deutlich gezeigt, wie aus Abbildungen 7 und 8 ersichtlich ist. Neben der unterschiedlichen mechanischen Beanspruchung unterscheiden sich auch die Prüftemperaturen (RVS: 50 °C, EN: 23 °C).

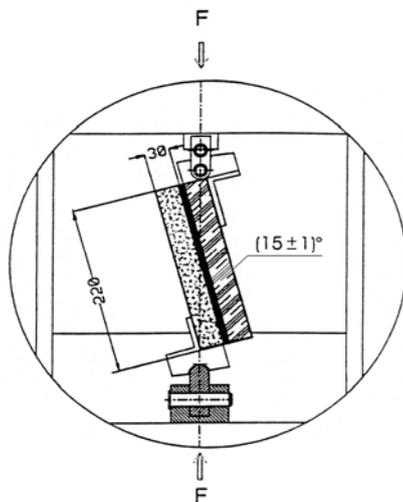


Abb. 9: Scherfestigkeit nach EN 13653

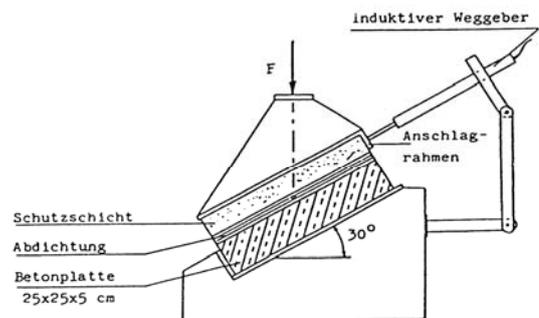
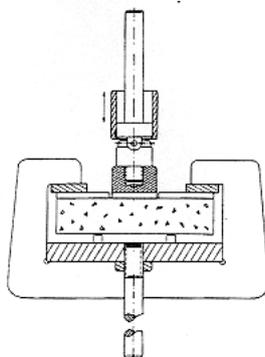


Abb. 10: Schubfestigkeit nach RVS 15.03.12

Auch die Prüfungen der **Haftzugfestigkeit** der Abreißfestigkeit gemäß EN 13596 und gemäß RVS 15.03.12 unterscheiden sich hinsichtlich der Prüftemperatur (EN: 23 °C, RVS: 0 °C) sowie der Geschwindigkeit (EN: 0,15 MPa/s, RVS: 0,10 MPa/s), in der die Belastung aufgebracht wird. Das Prüfprinzip ist jedoch vergleichbar (s. Abb. 11).



EN 13653



RVS 15.03.12

Abb. 11: Abreißfestigkeit bzw. Haftzugfestigkeit

4.2 Grundlagen des Haftverhaltens

Es würde zu weit führen, sämtliche Theorien, die es zum Haftverhalten von Bitumen gibt, im Rahmen dieses Beitrages zu erörtern. Es wird auf den Anhang der Druckversion verwiesen, der einige grundlegende Ausführungen zur "Beurteilung der Benetzbarkeit und des Adhäsionsvermögens von Bitumen an Mineralstoffen mittels Kontaktwinkelmessungen" aus der Diplomarbeit von Dipl.- Ing. Stephan Korn an der FH Hamburg (2004) wiedergibt.

In dieser Arbeit wird allerdings nicht auf die Haftung zwischen Reaktionsharzgrundierung und bituminösen Abdichtungsmaterialien (Heißklebmasse, Bitumenbahn) eingegangen. Einige Ausführungen lassen sich wahrscheinlich auch auf diesen Aspekt anwenden.

5. Haftverhalten in der Praxis

Wie schon ausgeführt wurde, hängen die Funktionsfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Abdichtungen von mehreren Voraussetzungen ab:

- Qualität der Planung
- Qualität der eingesetzten Produkte
- Qualität der Verarbeitung
- Qualität des Langzeitverhaltens

Hier sollte auch klar gestellt sein, was man unter Qualität versteht (ISO 9000):

Qualität: Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt

Das heißt, dass sich Qualität aus der Erfüllung von Anforderungen ergibt. In diesem Sinne müssen auch für die Beurteilung der angeführten Anforderungen festgelegt sein. In den nächsten Abschnitten wird der versuch gemacht, diesbezügliche Randbedingungen zu formulieren wobei hinsichtlich der Qualität der Produkte ist diese Forderung durch festgelegte Prüfverfahren in Zusammenhang mit Anforderungen in Produktnormen erfüllt erscheint.

5.1 Qualität der Planung

Zur Planungsqualität zählen auch die Ausschreibung und Vergabe. Für sich allein hat die Planung wahrscheinlich keinen Einfluss auf das Haftverhalten, es können jedoch negative Auswirkungen im Vorfeld vermieden werden. Grundlage bilden natürlich auch normative Dokumente, die zu berücksichtigen sind. Die Wahl des „richtigen“ Abdichtungssystems in Abhängigkeit von der Lage des Bauwerks, der Jahreszeit des vorgesehenen Einbaus, der zu erwartenden Verkehrsbeanspruchung spielt dabei eine große Rolle. Nicht jedes Abdichtungssystem kann bei hoher Feuchtigkeit oder tiefen Temperaturen eingebaut werden. Hier ist sicher bereits bei der Angebotsprüfung zu überlegen, ob die Leistungsmerkmale eines angebotenen Abdichtungssystems die geforderten Eigenschaften abdecken. Die RVS 15.03.12 enthält zwar eine Vielfalt an Aufbauten, es wird jedoch lediglich unterschieden zwischen Regelsystemen und Sondersystemen, wobei der Einsatz letzterer nur zulässig ist, wenn der Einbau eines Regelsystems nicht möglich ist. Meist kann aber das Vorliegen einer derartigen Situation bei Ausschreibung oder Vergabe nicht abgeschätzt werden. Es ist dann Aufgabe von Auftraggeber und Auftragnehmer, rechtzeitig die entsprechenden Änderungsmaßnahmen zu treffen.

5.2 Qualität der eingesetzten Produkte

Die Anforderungen an die zu verwendenden Produkte für Abdichtungen mit Bitumenbahnen sind wie bisher in der RVS 15.03.12 festgelegt, wobei hinsichtlich der Abdichtungsbahnen selbst auf die Anforderungen der ÖNORM B 3684 „Abdichtungsbahnen- Bitumenbahnen mit Trägereinlage für Abdichtungen von Betonbrücken und andere Verkehrsflächen aus Beton – Nationale Umsetzung der ÖNORM EN 14695“ verwiesen wird. Welche Leistungsmerkmale gemäß EN 14695 nachzuweisen sind, wurde bereits früher ausgeführt (s. Tabelle 1). Der Nachweis hinsichtlich der Haftfähigkeit ist auf Basis der Schubfestigkeit und der Abreißfestigkeit (früher: Haftzugfestigkeit) dabei verpflichtend.

Bis zum Inkrafttreten der EN 14695, auf deren Basis eine Verpflichtung der CE-Kennzeichnung für das „Inverkehrbringen“ besteht, hat es beim BMVIT eine Liste zugelassener Systeme gegeben, aus der ersichtlich war, welche Abdichtungssysteme über einen Nachweis der Erfüllung der Anforderungen der RVS 15.03.12 verfügen. Als Ersatz dieser Zulassungen ist vorgesehen, dass bei der FSV eine gleichartige Liste geführt wird, die aber keine formelle Zulassungsliste darstellt.

5.3 Qualität der Verarbeitung

Mit der Qualität der Ausführung steht und fällt die Funktionsfähigkeit von Abdichtungen. Aus diesem Grund wurde in den neuen RVS für Brückenabdichtungen eine eigene RVS für die Ausführung geschaffen. Neben einem Abschnitt, der sich mit den Festlegungen des Fahrbahnaufbaues und des Herstellungsablaufes beschäftigt, gliedern sich die Abschnitte über die Untergrundvorbereitung, den Einbau von Primer (Grundierung), Abdichtung und Fahrbahn grundsätzlich in

- Arbeitsschritte vor der Durchführung
- Durchführung
- Kontrollen während der Durchführung
- Anforderungen
- Prüfungen nach Durchführung
- Weiterführende Maßnahmen

wobei jeweils die einzelnen Arbeits- bzw. Kontrollschritte detailliert beschrieben sind. Als Grundlage für die Dokumentation soll ein detailliertes Begleitprotokoll dienen, das derzeit in Vorbereitung ist. Da bei verschiedenen Schritten Anforderungen an die Einbaubedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit etc.) gestellt werden, erfolgt der Nachweis von ihrer Einhaltung ebenfalls in diesem Protokoll. Auf diese Weise hofft man, die Qualität der Ausführung zu heben und nachvollziehbar zu gestalten.

Die Notwendigkeit einer anforderungsgemäßen Ausführung wird durch die Tatsache belegt, dass der überwiegende Anteil von Bauschäden auf mangelnde Ausführung zurückzuführen ist. Daher ist auch die Kontrolle dieses Bereiches von besonderer Bedeutung. Durch eine klar strukturierte Protokollierung der Abläufe können in vielen Fällen auch die Ursachen von Bauschäden rasch ermittelt werden.

5.4 Qualität des Langzeitverhaltens

Die Qualität des Langzeitverhaltens hängt direkt von der Planung, den Produkten und der Ausführung ab. Durch die Festlegung von Eigenschaften zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit gemäß EN 14695 (s. Tabelle 1) scheint bei den Produkten auch die Qualität des Langzeitverhaltens gegeben.

Wesentlich ist hinsichtlich der Qualität der Ausführung, dass bei Fertigstellung der Arbeiten auch ein Nachweis über die Erfüllung der Anforderungen erbracht wird. Dies erfolgt durch Abnahmeprüfungen, die nunmehr in der neuen RVS 11.06.81 festgelegt sind. Zur Dokumentation dient ebenfalls das bereits genannte Begleitprotokoll. Der Sinn eines gemeinsamen Protokolls für die Überprüfung der Ausführungsarbeiten und das Erfüllen von Anforderungen an die verlegten Schichten liegt darin, dass für jedes Objekt eine in sich abgeschlossene Dokumentation vorliegt, die auch im Zuge von Instandhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen herangezogen werden kann.

5.5 Schäden aus mangelnder Haftfähigkeit

5.5.1 Mängel der Tragwerksoberfläche

Derartige Mängel können durch nicht ausreichende Betonqualität oder durch nicht ordnungsgemäße Untergrundvorbereitung verursacht sein. Die Überprüfung erfolgt durch Bestimmung der Abreißfestigkeit des Betons. Erstere kann man nachträglich kaum sanieren, bei mangelhafter Untergrundvorbereitung kann bis zu einem gewissen Grad noch nachgebessert werden. Hierher gehören auch Haftungsmängel von Reparaturmörteln oder Kratzspachtelungen.

5.5.2 Primer auf Tragwerksoberfläche

Ein zu geringer Auftrag von Bitumenvoranstrichen kann Haftungsmängel zur Folge haben, da keine ausreichende Haftbrücke entsteht. Auch zu hohe Betonfeuchtigkeit und Verunreinigungen können zu Haftungsmängeln führen.

Bei Reaktionsharzen kann es bei zu großer Betonfeuchtigkeit oder zu niedrigen Einbautemperaturen zu Problemen beim Aushärten kommen. Im Allgemeinen bilden Reaktionsharze eine gute Haftbrücke, da sie nicht nur eine gute Haftfähigkeit an sich aufweisen sondern auch weil sie sich in die Betonporen verkrallen können. Bei Reaktionsharzen erfolgt eine Prüfung der Abreißfestigkeit vom Beton.

5.5.3 Abdichtung auf Primer

Hier gibt es verschiedenste Ursachen für das Auftreten von Mängeln:

- Systeme im Gießverfahren: zu geringe Menge und/oder zu niedrige Temperatur der Heißklebmasse
- Systeme im Flämmverfahren: zu geringe Temperatur der Flamme, nicht ausreichendes Aufschmelzen der unteren Deckschicht der Bahn

In beiden Fällen spielt die Rautiefe der Oberfläche eine große Rolle. Darüber hinaus können Dampfdrücke auf Grund zu hoher Betonfeuchtigkeit zu Blasenbildung führen, die in der Folge so genannter wachsender Blasen zum Ablösen größerer Bereiche führen kann. Bei Harzgrundierungen ist diese Gefahr zwar geringer, es können aber bereits im Zuge des Aufbringens feinste Kanülen entstehen, durch die später Wasserdampf durchdringen und zu Blasen führen kann.

Die Prüfung erfolgt einerseits durch die Ermittlung der Abreißfestigkeit der ersten Abdichtungslage bzw. durch Überprüfung auf Vorhandensein von Blasen.

5.5.4 Fahrbahn auf Abdichtung

Mängel in der Haftung können entstehen, wenn das Mischgut zu kalt eingebaut wird und damit keine Verbindung mit dem Bitumen der Abdichtungsbahn entsteht. Hier kann keine Überprüfung stattfinden, da man sonst die Abdichtung schädigen würde.

5.5.5 Schichten der Fahrbahn

Mangelnde Haftung kann vor allem durch dynamische Beanspruchungen zur Zerstörung abgelöster Schichten führen. Die Haftung der einzelnen Schichten der Fahrbahn (Schutzschicht, Zwischenschicht, Deckschicht) wird mittels entnommener Bohrkern überprüfbar.

6. Die neuen RVS für die Abdichtung von Verkehrsflächen

Ich habe bereits mehrfach die neuen RVS angesprochen, die derzeit vor ihrer Fertigstellung stehen. Diese RVS tragen durchgehend den Übertitel „Abdichtung und Fahrbahn auf Brücken und anderen Verkehrsflächen aus Beton“. Nachstehend ein Auszug aus der RVS 15.03.11:

Insgesamt umfasst das RVS-Regelwerk, in dem der Bereich der Brücken, Parkdecks und Tunnel in offener Bauweise in Hinblick auf die Abdichtungen und den Fahrbahnaufbau beschrieben ist, folgende RVS:

RVS 08.07.03 *Technische Vertragsbedingungen; Oberflächenschutz und Abdichtung von Beton; Abdichtung und Fahrbahn auf Brücken und anderen Verkehrsflächen aus Beton; Ausführung*

RVS 11.06.81 *Qualitätssicherung Bau; Prüfungen; Abdichtung und Fahrbahn auf Brücken und anderen Verkehrsflächen aus Beton; Abnahmeprüfungen*

RVS 15.03.xx *Brücken; Bauausführung; Abdichtung und Fahrbahn auf Brücken und anderen Verkehrsflächen aus Beton:*

- 11 *Allgemeines und Begriffsbestimmungen*
- 12 *Abdichtungssysteme mit Polymerbitumenbahnen*
- 13 *Flüssig aufzubringende Abdichtungssysteme*
- 14 *Ausgleichs- und Instandsetzungsmörtel*
- 15 *Fahrbahnaufbau*
- 91 Arbeitspapier Nr. 04 – Begleitprotokoll zu RVS 08.07.03 und RVS 11.06.81

Die RVS 15.03.12, 15.03.13, 15.03.14 und 15.03.15 enthalten die Anforderungen an die im Zuge der Herstellung von Brückenabdichtungen bzw. des Fahrbahnaufbaues eingesetzten Materialien sowie Systeme. Sie stellen Richtlinien dar, um bei der Abdichtung von Betontragwerken einen einheitlichen und möglichst hohen Qualitätsstandard zu sichern, der auch dem aktuellen Stand der Technik entspricht. Die anzustrebende optimale Abdichtung soll dazu beitragen, die Dauerhaftigkeit der betroffenen Ingenieurbauwerke zu optimieren.

Die RVS 15.03.12 regelt Abdichtungssysteme mit Polymerbitumenbahnen für Betonbrücken mit Asphaltenschutzschicht, mit Schutzbeton und mit Grünflächen, Parkdecks aus Beton mit Asphaltenschutzschicht sowie für Holzbrücken mit oder ohne Asphaltenschutzschicht und für Tunnel in offener Bauweise. Die in der RVS 15.03.11, Ausgabe September 2003 enthaltenen materialspezifischen Regelungen für Grundierung, Versiegelung und Kratzspachtelung wurden in die aktuelle RVS 15.03.12 übernommen.

Die RVS 15.03.13 regelt flüssig aufzubringende Abdichtungssysteme und dient sinngemäß der nationalen Umsetzung der ETAG 033.

Die bisher in den RVS 15.03.11 (Ausgabe September 2003), 15.03.12 (Ausgabe Dezember 2003), 15.03.13 (Ausgabe Mai 1997) und 15.03.15 (Ausgabe Mai 2001) enthaltenen Festlegungen für die Herstellung und die Abnahme sind nunmehr in den neuen RVS 08.07.03 und 11.06.81 geregelt.

Die RVS 15.03.14 enthält Regelungen für die Materialien für Ausgleichs- und Instandsetzungsmörtel. Die bisher in RVS 15.03.14 (Ausgabe September 2003) enthaltenen Festlegungen für die Behandlung abzudichtender Oberflächen von Betontragwerken sind nunmehr in der neuen RVS 08.07.03 geregelt.

Die RVS 15.03.15 legt wie bisher den Fahrbahnaufbau fest.

Die neue RVS 08.07.03 regelt die Herstellung von Abdichtungen (Herstellungsplanung, Tragwerksoberfläche einschließlich Saniermörtel; Grundierung, Versiegelung, Kratzspachtelung; Abdichtungssysteme mit Polymerbitumenbahnen; Flüssig aufzubringende Abdichtungssysteme; Fahrbahnaufbau) einschließlich begleitende Kontrollen und deren Dokumentation.

Die neue RVS 11.06.81 regelt die Abnahmeprüfungen von Abdichtungen (Tragwerksoberfläche einschließlich Saniermörtel; Grundierung, Versiegelung, Kratzspachtelung; Abdichtung mit Polymerbitumenbahnen; Abdichtung mit Flüssigkunststoffen; Fahrbahnaufbau) und deren Dokumentation.

Für die Dokumentation der in den RVS 08.07.03 und RVS 11.06.81 festgelegten Schritte der Herstellung, Kontrolle und Abnahme wird das RVS Arbeitspapier Nr. 04, Ausgabe 2013 dienen. Dieses Arbeitspapier ersetzt die Ausgabe November 2007 „Aufbringung von Grundierung, Versiegelung und Kratzspachtelung“. Diese Aspekte werden jetzt in der RVS 08.07.03 geregelt.

ANHANG

"Beurteilung der Benetzbarkeit und des Adhäsionsvermögens von Bitumen an Mineralstoffen mittels Kontaktwinkelmessungen"

Auszüge aus der Diplomarbeit von Dipl.- Ing. Stephan Korn an der FH Hamburg (2004)

A 1 Adhäsion

Als Adhäsion bezeichnet man das Haften zweier unterschiedlicher Stoffe aneinander. Beim Kontakt eines Feststoffes mit einem anderen Feststoff, einer Flüssigkeit oder einem Gas treten an der Grenzfläche der beiden Stoffe automatisch anziehende Wechselwirkungen zwischen den Teilchen auf, aus denen diese Stoffe bestehen. Diese Anziehungskraft zwischen den beiden Stoffen wird Adhäsion genannt, die als Widerstand gegenüber einer trennenden Beanspruchung des Verbundes auftritt.

A 2 Theorie der Haftvorgänge

Die chemischen und physikalischen Wechselwirkungen sowie eine mechanische Verankerung zwischen den Verbundkomponenten müssen im Zusammenhang betrachtet werden. Zur Überschaubarkeit sind hier ohne Wertung und ohne Anspruch auf Vollständigkeit vier Theorien dargestellt.

Die **mechanische Theorie** erklärt die Haftung mit Hilfe des Modells der Verzahnung zwischen Beton und Bitumen. Das flüssige Bitumen dringt in die Poren und Risse ein. Bei Abkühlung des Bindemittels kommt es zu einer Verankerung der beiden Stoffe.

Die **chemische Theorie** geht von einer chemischen Reaktion zwischen Bitumen und Beton aus, wobei hier sowohl das Gestein wie auch die Zementmatrix eine Rolle spielt. Untersuchungen des Haftungsvermögens an sauren und basischen Gesteinen haben deutliche Unterschiede gezeigt. Bei Systemprüfungen gemäß EN 14695 muss für die Betonplatten gemäß EN 1766 quarzitischer Zuschlag verwendet werden, da Bitumen zu saurem Gestein ein weniger gutes Haftvermögen aufweist. Man ist damit eher auf der sicheren Seite.

In der Literatur ist die Theorie teilweise umstritten, da chemische Reaktionen irreversibel sind. Bitumen zeigt wiederum reversible Reaktionen in Anwesenheit von geeigneten Lösungsmitteln.

Die **Theorie der molekularen Orientierung** beruht darauf, dass das Bitumen und die Betonoberfläche unterschiedliche Ladungen besitzen. Kommt es zur Berührung der beiden Stoffe orientieren sich die Moleküle des Bitumens in Richtung Grenzfläche. Sie richten sich so aus, dass sie den Energiebedarf der Gesteinsoberfläche sättigen. Bei diesem Ablauf wird ein negatives Molekül des Gesteins von einem positiv geladenen Molekül des Bitumens neutralisiert.

Die **thermodynamische Theorie** wird auch als **Theorie der Grenzflächenenergie** bezeichnet. In der Literatur bekommt die Theorie großen Zuspruch. Sie beschreibt die Benetzung, Ausbreitung und Ablösung des Bitumens als einen thermodynamischen Ablauf, der von der Oberflächenenergie der Stoffe abhängig ist. Dabei wird der Einfluss der Polarität der Moleküle besonders berücksichtigt.

Polare Flüssigkeiten werden im Vergleich zu nichtpolaren Flüssigkeiten von mineralischen Oberflächen verstärkt angezogen. Diese Theorie unterstreicht das Verhalten von Wasser, das eine stark polare Flüssigkeit ist.

A 3 Theorie der Ablösevorgänge

Für das Versagen der Haftverbindung zwischen Mineralstoff und Bitumen sind zwei Ursachen zu nennen:

- Unzureichende Kohäsion innerhalb des Bitumens
- Mangelnde Adhäsion an der Grenzfläche: Bitumen – Mineralische Stoffe

Die Hauptursache für Adhäsionsfehler ist der Einfluss von Wasser.

A 3.1 Porendrucktheorie

Im Beton können sich in den Poren bzw. den Hohlräumen Porendrücke in Anwesenheit von Wasser entwickeln. Zusätzlich sind Porendrücke durch Dampfdrücke zu erwarten.

A 3.2 Verdrängungstheorie

Die Verdrängungstheorie geht von einer Störung des Gleichgewichtszustandes zwischen Bitumen und Mineralstoffen in Anwesenheit von Wasser aus. Diese Theorie greift, wenn keine vollständige Verklebung vorliegt. Das Wasser findet infolgedessen Zutritt zur Grenzfläche Beton/Bitumen und verdrängt aufgrund der höheren Oberflächenspannung bzw. polaren Anteile das Bitumen.

Die Verdrängung des Bitumens ist dabei von dessen Viskosität abhängig. Hochviskose Bitumen haben einen höheren Widerstand bei der Verdrängung durch Wasser.

A 3.3 Unterwanderungstheorie

Bei dieser Theorie wird die Haftverbindung zwischen Bitumen und Beton gestört, indem das Bitumen an der Grenzfläche durch den Einfluss von Feuchtigkeit unterwandert wird.

In Gegenwart von Wasser an der Oberfläche von mineralischen Stoffen kommt es oft zur Bildung negativer Ladungen im Bitumen. Da beide Oberflächen die gleiche Ladung aufweisen, stoßen sie sich ab. Infolgedessen wird der Ablösevorgang durch das vermehrte Eindringen von Wasser verstärkt.

A 4 Benetzungsverhalten

Die Benetzung ist die Wirkung, die aus dem Streben eines Festkörpers resultiert, mit einer Flüssigkeit eine möglichst große gemeinsame Grenzschicht zu bilden, die Flüssigkeit also auf der Festkörperoberfläche zu einem Film spreiten zu lassen. Demgegenüber hat eine Flüssigkeit das Bestreben, selbst eine möglichst kleine Oberfläche auszubilden, also einen kugelförmigen Tropfen zu erzeugen.

Die Benetzung an der Grenzfläche wird folglich durch das Gleichgewicht aus Adhäsion und Kohäsion bestimmt. Die Oberflächenspannung der Flüssigkeit (Kohäsion) verkleinert die Oberfläche, die Adhäsion zieht die Oberfläche längs der angrenzenden Fläche auseinander. Somit ist die Benetzung um so besser, je größer die Beweglichkeit der Moleküle in der Flüssigkeit ist. Demzufolge nehmen mit abnehmender Viskosität die Kohäsionskräfte, die den Dipolkräften zwischen den Molekülen des Bitumens und des Gesteins entgegenwirken, ab. [8]

Benetzungsfälle:

Adhäsion >> Kohäsion	benetzend
Adhäsion << Kohäsion	nicht benetzend

Diese beiden gegenläufigen Bestrebungen führen zu einem Gleichgewichtszustand, der sich beispielsweise an einem Flüssigkeitstropfen auf einer Festkörperoberfläche beobachten lässt. Wie sich dieser Tropfen ausbildet, hängt vom Verhältnis der freien Oberflächenenergien der drei beteiligten Phasen (Flüssigkeit, Festkörperoberfläche, umgebendes Medium) ab.

Das Benetzungsverhalten wird maßgeblich von der Viskosität des Bitumens beeinflusst. Bitumen mit einem niedrigen Härtegrad bzw. geringer Viskosität breiten sich auf einer festen Oberfläche nach Einstellung des Gleichgewichtszustandes weiter aus. Der Ausbreitungsdurchmesser ist im Vergleich mit einem Bitumen hoher Viskosität größer.

Ein übliches Maß für die Benetzung ist der Kontaktwinkel zwischen einem Flüssigkeitstropfen und einer Festkörperoberfläche. Der Kontaktwinkel wird zwischen der Festkörperoberfläche und der Tangente der Flüssigkeitsoberfläche an der Stelle, wo sie die Festkörperoberfläche berührt, gemessen.

Das Benetzungsverhalten bezeichnet die Fähigkeit von Flüssigkeiten, sich auf einer Oberfläche auszubreiten; je besser die Benetzbarkeit, umso kleiner ist der bei der Benetzung auftretende Kontaktwinkel.

Die häufig vertretende Meinung, nach der die Benetzung mit abnehmender Oberflächenspannung zunimmt, trifft nicht im Allgemeinen zu. Die Benetzung hängt immer von den Wechselwirkungen beider beteiligten Phasen Mineralstoff und Bitumen ab. [16]

A 5 Kontaktwinkel

Bei einer optimalen Benetzung spreitet eine Flüssigkeit auf einer Oberfläche, verteilt sich also in einer dünner werdenden Schicht selbstständig über immer größere Flächen. Bei dem Spreiten der Flüssigkeit müssen die adhäsiven Kräfte größer sein als die kohäsiven Kräfte und die Oberflächenspannung der Auflagerfläche größer als die der spreitenden Flüssigkeit.

Bei guter Benetzung erhält man einen relativ flachen Tropfen mit großer Berührungsfläche zur Oberfläche. Bei schlechter Benetzung besitzt der Tropfen die Form einer mehr oder weniger abgeflachten Kugel und perlt von der Oberfläche ab. Mit Hilfe des Kontaktwinkels φ lässt sich die Qualität der Benetzbarkeit quantitativ erfassen.

Flüssigkeiten besitzen neben solchen Eigenschaften wie der Dichte oder Viskosität auch die der Oberflächenspannung.

Der Kontaktwinkel ist von Heterogenitäten, Fremdstoffen und von der Rauheit der zu benetzenden Oberfläche abhängig. Deshalb ist es in der Praxis schwierig, aufgrund des Benetzungsgrades Aussagen über die Adhäsion zu formulieren. Der Benetzungswinkel ist daher kein Maß für die Höhe der an der Grenzschicht vorhandenen Bindungskräfte, sondern er beschreibt lediglich die Benetzungsverhältnisse.

Im Allgemeinen kann man feststellen, dass eine gute Benetzung gegeben ist, wenn die Oberflächenenergie eines Feststoffes größer als die Oberflächenspannung der Flüssigkeit ist. Nur in diesem Fall wird eine Substanz einer Oberfläche adsorbiert.

Die Benetzung eines Stoffes mit Wasser und Luft als umgebendem Medium hängt vom Verhältnis der Grenzflächenspannungen Wasser/Luft, Festkörper/Wasser und Festkörper/Luft ab. Das Verhältnis der Spannungen bestimmt z.B. den Kontaktwinkel eines Wassertropfens auf einer Oberfläche. Ein Kontaktwinkel von 0° bedeutet vollständige Benetzung, das heißt, ein Wassertropfen zerläuft zu einem Film (Abb.: 5).

Ein Kontaktwinkel von 180° bedeutet vollkommene Unbenetzbarkeit, der Tropfen berührt die Oberfläche in nur einem Punkt. Stoffe mit einer hohen Oberflächenenergie werden besser benetzt als solche mit niedriger Oberflächenenergie, wie z.B. PTFE (TEFLON®)

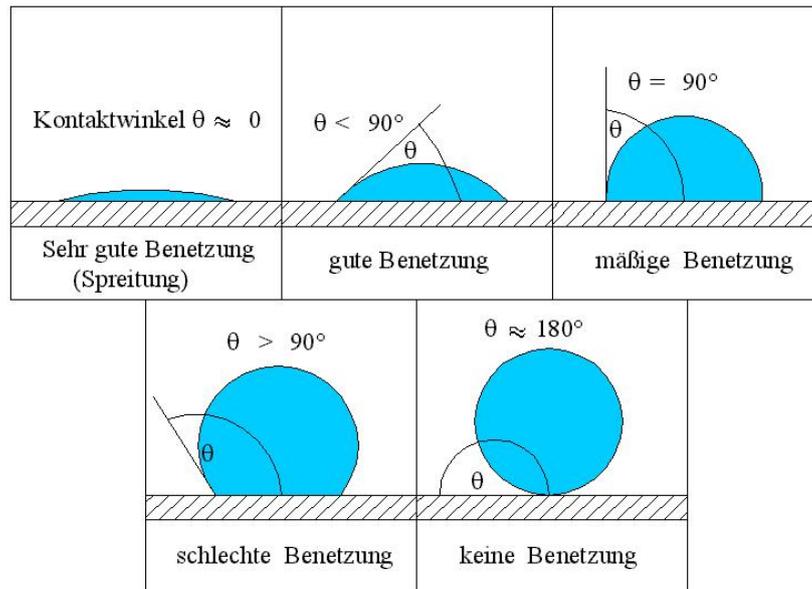


Abb.5: Benetzungsarten

A 6 Oberflächenspannung/Oberflächenenergie

Die Oberflächenspannung einer Flüssigkeit stellt eine wichtige Einflussgröße auf das Adhäsionsvermögen dar. Die Oberflächenspannung beschreibt den Spannungszustand an der Grenzfläche zwischen zwei Stoffen.

Unter einer Oberfläche versteht man die sichtbare Fläche einer Flüssigkeit oder eines Festkörpers, die an ein undefiniertes Gas, z.B. die normale Umgebungsluft, grenzt. Der Begriff Grenzfläche bezeichnet die Fläche zwischen zwei festen oder flüssigen bzw. festen gegen flüssigen Phasen. Mit abnehmender Oberflächenspannung nimmt die Benetzungsfähigkeit des Bitumens zu. [18]

Die Ursache für die Oberflächenspannung sind Wechselwirkungskräfte zwischen benachbarten Molekülen. Im Inneren ist die resultierende Kraft im Mittel Null und das Molekül befindet sich im Gleichgewicht. Wenn ein Molekül an der Flüssigkeitsoberfläche betrachtet wird, fehlt ein Teil der Wechselwirkungen mit anderen Molekülen. Es findet eine Wechselwirkung mit den Molekülen des darrüberliegenden Gases bzw. Dampfes statt. Als resultierende Kraft wirkt auf das Molekül an der Oberfläche eine nach innen, senkrecht zur Oberfläche gerichtete Kraft (Abb.: 6). Daher bilden Flüssigkeiten Formen, die durch die kleinstmögliche Oberfläche (Kugelform) gekennzeichnet sind. Die Größe der Oberflächenspannung nimmt somit mit steigender molekularer Anziehungskraft im Inneren zu.

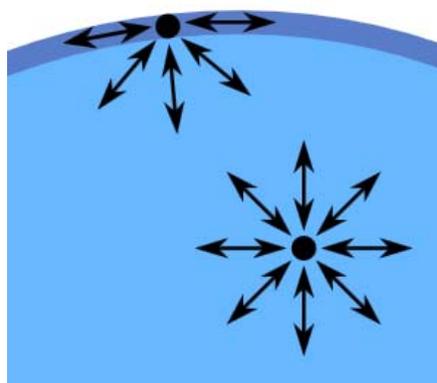


Abb. 6: Schema der Oberflächenspannung

Die Oberflächenspannung ist ein Maß für den Energiegehalt der Oberfläche, bzw. eine zur Vergrößerung der Oberfläche definierte Arbeit, dividiert durch den Zuwachs der Fläche. Die Oberflächenspannung wird in der Einheit Energiegehalt pro Fläche erfasst.

Die Oberfläche von Festkörpern kann nicht reversibel vergrößert oder verkleinert werden. Bei Festkörpern muss neben der nötigen Arbeit zur Schaffung neuer Oberfläche auch Arbeit aufgewandt werden, um Bindungen zu brechen, die den Festkörper zusammenhalten. Man spricht deshalb bei festen Oberflächen nicht von Oberflächenspannung, sondern von Oberflächenenergie.

A 7 Grenzflächenspannung

Bringt man zwei Flüssigkeiten oder eine Flüssigkeit und einen Festkörper in Kontakt, so kommt es an der Grenzfläche zu molekularen Wechselwirkungen.

Für die Interpretation von Kontaktwinkelmessungen sind die elektrostatischen Anziehungskräfte zwischen Dipolen von besonderer Bedeutung. Man unterscheidet dabei die Wechselwirkungen zwischen statischen und induzierten Dipolen, die als "Van der Waals-Kräfte" bezeichnet werden.

"Van der Waals-Kräfte" ist die allgemeine Bezeichnung für die anziehenden intermolekularen Kräfte. Sie umfassen die physikalischen Wechselwirkungen zwischen permanenten Dipolen (Abb.: 7), die Induktionswechselwirkungen zwischen Dipolen und polarisierbaren Molekülen und die Dispersionswechselwirkungen (auch London-Kräfte genannt).

Moleküle, die eine unsymmetrische Verteilung von Ladungen haben, besitzen ein permanentes oder statisches Dipolmoment. Bekanntestes Beispiel ist Wasser. Diese Moleküle werden auch als polar bezeichnet. Wenn sich zwei polare Moleküle bzw. permanente Dipole (Abb.: 7a) einander nähern, so findet eine elektrostatische Wechselwirkung zwischen den Dipolen statt. Wenn sich ein polares Molekül einem unpolaren Molekül mit symmetrischer Ladungsverteilung nähert (Abb.: 7b), so induziert es in dem polarisierbaren Molekül ein Dipolmoment. Zwischen dem permanenten Dipol des ersten Moleküls und dem induzierten Dipol des zweiten Moleküls findet jetzt eine Wechselwirkung statt. Die beiden Moleküle ziehen sich gegenseitig an.

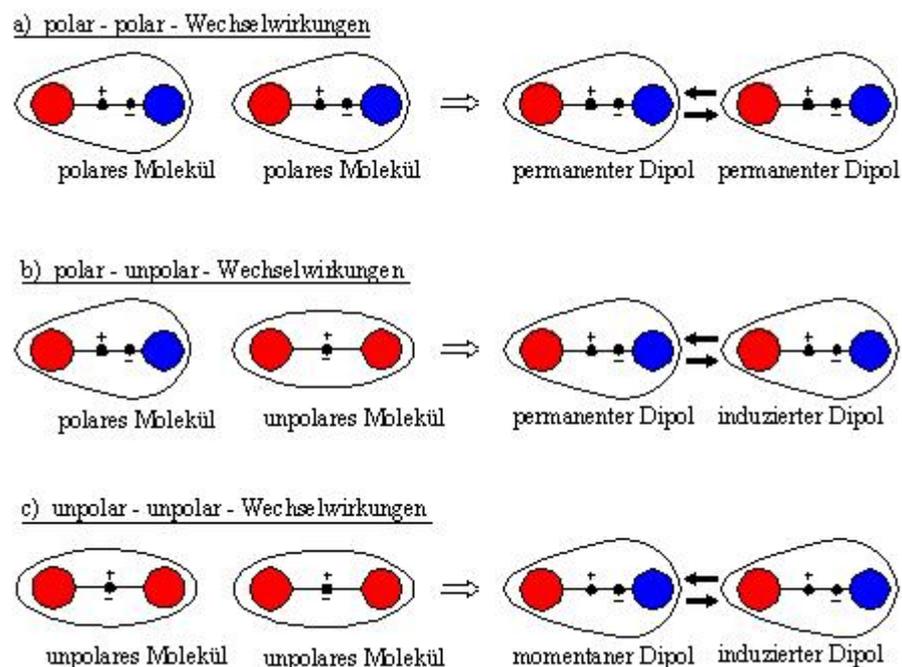


Abb.7: Schematische Darstellung der anziehenden Wechselwirkungen [2]

Zur Diskussion der Wechselwirkung zwischen zwei nicht-polaren Molekülen, wie sie in Abbildung 7c dargestellt ist, betrachtet man die Moleküle im Abstand R zueinander. Sie haben zwar keine

permanenten Dipolmomente, dennoch verändert sich die Position ihrer Elektronen und somit die Ladungsschwerpunkte. Sie haben daher ein momentanes Dipolmoment, das zeitlich variiert. Diese momentanen Dipole können im benachbarten Molekül einen Dipol induzieren, woraus eine Anziehungskraft resultiert.

Diese Wechselwirkung zwischen induzierten Dipolen wird auch Dispersions-wechselwirkung genannt, die dabei auftretenden Kräfte werden nach ihrem Entdecker "London-Kräfte" benannt. In nichtpolaren Molekülen bildet die Dispersionswechselwirkung den Hauptanteil. Sie entsteht durch Schwankungen der elektrischen Felder in den Atomen. Ein gemeinsames Merkmal der wirkenden Kräfte ist, dass sie nur wirksam werden können, wenn die reagierenden Phasen gegenseitig nur einen sehr geringen Abstand zueinander haben.