

## Abriebe von Fahrbahnoberflächen

FA 2.424

Forschungsstellen: Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG,  
Karlsruhe  
EUROVIA Services GmbH, Bottrop

Bearbeiter: Schmidt, W. / Düring, I. / Johannsen,  
K.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digi-  
tale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: März 2021

### 1 Ziel

Ziel des Projekts war es, systematische Untersuchungen zum Abriebverhalten und damit zur Partikelemission verschiedener Fahrbahnoberflächen durchzuführen, die Ergebnisse zu quantifizieren und eine Empfehlung für die Berücksichtigung abgeleiteter Emissionsfaktoren in den FGSV-Richtlinien RLuS ("Richtlinien zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung") zu geben. Dazu wurden

- eine umfassende Literaturrecherche und Auswertung zum Thema durchgeführt,
- abriebsrelevante Kenngrößen für 27 typische, in Deutschland eingesetzte Fahrbahnbeläge bestimmt,
- Laborversuche zum Abriebverhalten von 21 dieser Fahrbahnbeläge durchgeführt,
- Emissionsberechnungen für nicht motorbedingte Partikel (AWAR) mit dem Modell NORTRIP (Non-exhaust road traffic induced particle emission modelling) in seiner Version 3.2 durchgeführt und auch die resultierenden PM10-Straßenabriebemissionsfaktoren ausgewiesen,
- diese Berechnungsergebnisse mit AWAR-Emissionsfaktoren nach Düring et al. (2011) beziehungsweise HBEFA 4.1 verglichen,
- die NORTRIP-Berechnungsergebnisse des dort integrierten NOx-Tracermodells mit Immissionsmessungen an der Frankfurter Allee in Berlin und am Neckartor in Stuttgart verglichen,
- Empfehlungen zur Anwendung von NORTRIP gegeben sowie
- aus den NORTRIP-Berechnungen erzeugte PM10-AWAR- und -Straßenabriebemissionsfaktoren für die Anwendung in den RLuS abgeleitet.

### 2 Betrachtete Fahrbahnbeläge

Folgende in Deutschland am häufigsten eingesetzte Fahrbahnbeläge wurden nach Abstimmung mit der BAST und dem Betreuerkreis untersucht:

- Asphaltbeton,
- Offenporiger Asphalt (OPA),
- Gussasphalt,
- DSH (Dünne Asphaltdeckschicht in Heißbauweise),
- Waschbeton und
- Splittmastix-Asphalt (SMA).

Aufgrund der beschränkten Untersuchungsmöglichkeiten im Rahmen des Projekts wurde die Auswahl der betrachteten Fahrbahnbeläge im Wesentlichen im Hinblick auf die Praxisrelevanz beziehungsweise die regelwerkstechnischen Vorgaben vorgenommen. So wurden in der Praxis nicht durchführbare Varianten (zum Beispiel Offenporiger Asphalt aus Kalkstein aufgrund nicht ausreichender Festigkeit) nicht betrachtet. Es kommen unterschiedliche Gesteinsarten zum Einsatz, deren Auswahl sich im Wesentlichen an der regionalen Verfügbarkeit und der Wirtschaftlichkeit orientiert. Grundsätzlich werden dabei sowohl magmatische Gesteine, die durch Erstarrungsvorgänge entstehen (zum Beispiel Granodiorit, Rhyolith, Basalt), als auch Sedimentgesteine, die aus Ablagerungen entstehen (zum Beispiel Kalkstein), eingesetzt, soweit diese die jeweiligen Qualitätsanforderungen erfüllen. Es handelt sich zum Beispiel um:

- Granodiorit,
- Moräne,
- Rhyolith,
- Kuselit/Andesit,
- Basalt,
- Diabas,
- Kalkstein,
- Grauwacke und
- Quarzit.

Hieraus ergibt sich in Abstimmung mit dem Auftraggeber und dem wissenschaftlichen Betreuerkreis die in Tabelle 1 aufgeführte Matrix der zu untersuchenden Fahrbahnoberflächen. Die Rezepturen und Zusammensetzungen entsprechen denen aus realen Fahrbahnbelägen von EUROVIA sowie der BAST.

### 3 Quantifizierung des Abriebverhaltens im Labor

Um das Abriebverhalten der Fahrbahnoberflächen simulieren zu können, wurden Prüfungen im Labor durchgeführt. Hierzu wurden von im Labor hergestellten Fahrbahnprobeplatten Abrieb der Oberflächen erzeugt.

**Tabelle 1: Betrachtete Fahrbahnbeläge inkl. der relevanten Kenngrößen. DSH = Dünne Asphaltdeckschicht in Heißbauweise**

| Fahrbahnbelag              | Gestein         | Rohdichte Gestein    | Maximum stone size | S> 4mm |
|----------------------------|-----------------|----------------------|--------------------|--------|
|                            |                 | in Mg/m <sup>3</sup> | in mm              | in %   |
| Asphaltbeton               | Granodiorit     | 2.796                | 8                  | 32.63  |
|                            | Moräne          | 2.698                | 8                  | 32.08  |
|                            | Rhyolith        | 2.656                | 11                 | 43.97  |
|                            | Kuselit/Andesit | 2.654                | 5                  | 13.69  |
|                            | Basalt          | 2.993                | 8                  | 35.36  |
|                            | Diabas          | 2.855                | 8                  | 39.9   |
|                            | Kalkstein       | 2.737                | 11                 | 37.48  |
|                            | Grauwacke       | 2.733                | 8                  | 29.37  |
| Offenporiger Asphalt (OPA) | Granodiorit     | 2.796                | 8                  | 69.62  |
|                            | Moräne          | 2.698                | 11                 | 69.84  |
|                            | Basalt          | 2.993                | 5                  | 36.48  |
|                            | Grauwacke       | 2.733                | 8                  | 92.24  |
| Gussasphalt                | Diabas          | 2.855                | 8                  | 29.84  |
| DSH                        | Diabas          | 2.855                | 5                  | 20.53  |
| Waschbeton                 | Rhyolith        | 2.5 bis 2.9          | 8                  | 52.6   |
|                            | Kuselit/Andesit | 2.69                 | 8                  | 46.2   |
|                            | Basalt          | 2.9 bis 3.1          | 8                  | 49.3   |
|                            | Diabas          | 2.81                 | 8                  | 49.0   |
| Splittmastix-Asphalt (SMA) | Granodiorit     | 2.796                | 8                  | 63.47  |
|                            | Moräne          | 2.698                | 11                 | 64.61  |
|                            | Rhyolith        | 2.656                | 11                 | 63.35  |
|                            | Kuselit/Andesit | 2.654                | 8                  | 60.52  |
|                            | Basalt          | 2.993                | 11                 | 63.57  |
|                            | Diabas          | 2.855                | 8                  | 56.18  |
|                            | Grauwacke       | 2.733                | 8                  | 63.35  |
|                            | Quarzit         | 2.656                | 8                  | 60.93  |

Die Messungen der in die Umgebungsluft abgegebenen Partikel erfolgten in einem geschlossenen Prüfraum. Verwendet wurde eine angepasste Versuchsanordnung in Anlehnung an DIN EN 12697-22 (Spurbildungsversuch). Als Beanspruchungsgerät wurde das Spurbildungsgerät nach TP Asphalt-StB, Teil 22 verwendet. Die 340 x 280 mm<sup>2</sup> großen Probeplatten wurden dabei fortwährend durch Prüfräder mit einem Außendurchmesser von 203 mm und einer Breite von 50 mm überrollt, wobei diese eine Radlast von 700 N ausüben.

Beim Standard-Spurbildungsversuch werden überwiegend plastische Verformungen erzeugt. Um hier stattdessen einen Abrieb zu erzeugen, wurden die Prüfbedingungen wie folgt angepasst:

- Das europäisch genormte Gummirad wird durch ein profilloses Stahlrad mit gleichen Abmessungen in Anlehnung an die mittlerweile zurückgezogenen "Technischen Prüfvorschriften für Asphalt im Straßenbau (TP A-StB), Teil: Spurbildungsversuch – Bestimmung der Spurrinnentiefe im Wasserbad, Ausgabe 1997" ersetzt.
- Die Prüftemperatur wird von 60 auf 30 °C reduziert.
- Eines der beiden Prüfräder wird mit der vollen Radlast (700 N) eingesetzt ("Beanspruchungsseite"). Das zweite Rad wird ohne zusätzliche Gewichte eingesetzt und läuft lediglich aus gerätetechnischen Gründen mit.
- Der in der Prüfkammer befindliche Ventilator, der der besseren Temperaturverteilung dient, wurde abgeschaltet.

Als Messtechnik kam ein Optischer Partikelzähler OPS 3330 zum Einsatz. Dieser weist einen Messbereich von 0,3 bis 10 µm auf. Zusätzlich erfolgen Probenahmen auf einem Partikelfilter mittels eines Low Volume Sampler (LVS).

#### 4 Berechnung von Emissionsfaktoren für Straßenabrieb

Die Berechnungen wurden mit dem Programm NORTRIP (Non-exhaust road traffic induced particle emission modelling) mit der aktuellen Version 3.2 durchgeführt. Die Emissionsberechnungen wurden auf Basis von Zeitreihen (1-h-Werte) von Verkehrsmengen (DTV, SV-Anteil), Fahrzeuggeschwindigkeiten, Verkehrssituation sowie meteorologischen Parametern (Wind, Niederschlag, Feuchte, Temperatur, Strahlung) durchgeführt.

Um einerseits relevante Einflüsse verschiedener Einflussgrößen auf die Abriebemissionen darzustellen und andererseits auch deren Relevanz einer immissionsseitigen Bewertung unterziehen zu können, wurden die Berechnungen ausgehend von Datensätzen vorgenommen, die Korrelationen zwischen realen Verkehrs- und Meteorologiedaten auf der einen Seite und entsprechenden Immissionsdaten an einer Messstelle auf der anderen Seite aufweisen.

Betrachtet wurden folgende Szenarien:

- Innerortsstraße mit Tempolimit 30 km/h mit dichter Randbebauung,
- Innerortsstraße mit Tempolimit 50 km/h mit dichter Randbebauung,

- Innerortsstraße mit Tempolimit 50 km/h ohne dichte Randbebauung,
- Außerortsstraße mit Tempolimit 100 km/h und
- Autobahn mit Tempolimit 130 km/h.

Für diese Szenarien wurden verkehrliche und meteorologische Einflussgrößen sowie die Abriebparameter für nachfolgende Fahrbahnbeläge variiert:

- SMA 11 mit Rhyolit ( $h_{pave} = 1.5$ ),
- Waschbeton 8 mit Rhyolit ( $h_{pave} = 1.9$ ),
- OPA 5 mit Basalt ( $h_{pave} = 2.8$ ),
- Waschbeton 8 mit Diabas ( $h_{pave} = 3.9$ ),
- Asphaltbeton 8 mit Grauwacke ( $h_{pave} = 4.7$ ) und zusätzlich
- Standardbelag aus NORTRIP mit  $h_{pave} = 0.95$ .

## 5 Ergebnisse und Empfehlungen

### 5.1 Quantifizierung der Abriebmaße

Abgesehen von der Art des Reifens (insbesondere der Einsatz von Spikereifen), dem Fahrverhalten (Beschleunigungsanteile) und der Fahrgeschwindigkeit (höhere Geschwindigkeiten führen zu höheren Abriebwerten) sind weitere wesentliche Faktoren, die sich auf die Partikelerzeugung aus dem Abrieb der Fahrbahn auswirken,

- die Art/Festigkeit und die Korngröße des in der Fahrbahn verwendeten Gesteinmaterials,
- eventuell auch die Art des Bindemittels (polymermodifizierte Bindemittel scheinen positiv zu wirken) und
- eventuell bewirkt eine starke Modifizierung des Bindemittels (zum Beispiel Gummimodifizierung) und die sich dadurch einstellenden dickeren Bindemittelfilme eine Verminderung der PM10-Fahrbahnabriebemissionen. Die Höhe der Reduktion hängt hier wahrscheinlich von der Ausbildung der Oberfläche ab.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden die Gesteine auf die Kenngrößen NBM, PSV und LA untersucht. Es konnten keine Korrelationen der Kennwerte aus PSV-, LA- und NBM-Tests untereinander gefunden werden.

Die im Rahmen des vorliegenden Projekts durchgeführten Abriebversuche im Labor zeigten, dass die verwendeten Splittmastixasphalte (SMA) unabhängig von der betrachteten Fraktion die niedrigsten Abriebwerte lieferten. Offenbar ist vor allem die Kombination aus Splittmastixasphalt mit einem modifizierten Bindemittel geeignet, die Entstehung von Abrieb und dessen Emission in die Umgebungsluft effektiv zu reduzieren. Der OPA-Belag mit modifiziertem Binder lieferte ähnliche Abriebwerte.

Mit dem von NORTRIP empfohlenen Abriebmodell wurden für die untersuchten Fahrbahnen aus den oben genannten Kenn-

größen Abriebwerte ( $h_{pave}$ ) berechnet. Diese Werte variieren demnach zwischen 1.5 (SMA 11 mit Rhyolith) und 4.7 (Asphaltbeton 8 mit Grauwacke) und unterscheiden sich damit maximal um einen Faktor 3. Geringe Abriebwerte haben mit 1.8 auch der SMA 8 mit Quarzit und der Asphaltbeton 8 mit Quarzit beziehungsweise Rhyolith. Abriebwerte über 4 haben Beläge mit Diabas, Kalkstein und Grauwacke. Die Waschbetonfahrbahnen haben  $h_{pave}$ -Werte zwischen 1.9 (Rhyolith) und 3.9 (Diabas). Diese Abriebwerte ergeben sich für die hier untersuchten Fahrbahnen mit den verwendeten Gesteinen. Bei Verwendung gleicher Gesteine aber anderer Herkunft würden sich gegebenenfalls andere Abriebwerte ergeben. Es gibt deutliche Unterschiede im Abriebverhalten der untersuchten Fahrbahnen zwischen den Vorhersagen aus NORTRIP ( $h_{pave}$ ) und den Abriebversuchen im Labor. Neben dem NBM-Wert scheinen beim Einsatz von Reifen ohne Spikes weitere Parameter eine wichtige Rolle zu spielen, wie das Volumen der groben Gesteinskörnung am Marshallkörper, der Hohlraumgehalt am Marshallkörper, das Volumen des Asphaltmörtels am Marshallkörper, die Mischgutart sowie die Bindemittelart. Deshalb wurde anhand einer Regressionsanalyse ein alternativer (erweiterter) Ansatz zur Beschreibung der Abriebfestigkeit der untersuchten Fahrbahnoberflächen abgeleitet, der diese Kenngrößen berücksichtigt. Für die untersuchten Fahrbahnoberflächen variieren hier die mittleren PM10-Abriebemissionsraten untereinander bis zu einem Faktor von ca. 4.

Wir empfehlen, die Absolutwerte der mit NORTRIP<sup>1</sup> berechneten AWAR- und Straßenabriebemissionsfaktoren für  $h_{pave} = 1.5$  als Referenzfall zu verwenden. Der Einfluss der Fahrbahneigenschaften kann (pragmatisch) zusätzlich durch einen Fahrbahneinflussfaktor  $F_{Fahrbahn}$  multiplikativ auf die Straßenabriebemissionen des Referenzfalls abgebildet werden. Für Screeningmodelle, wie zum Beispiel die RLU<sub>S</sub>, könnte deshalb folgende zweistufige Klassifizierung als möglicher Ansatz zur Berücksichtigung der Ergebnisse dienen:

- Sieblinie mit Ausfallkörnung oder Einkorn-Gemisch unter Verwendung eines Polymermodifizierten Bitumens:  $F_{Fahrbahn} = 0.4$
- andere Beläge (Referenzfall):  $F_{Fahrbahn} = 1.0$

Mit diesen Ansätzen wurden mit NORTRIP berechnete AWAR- und Straßenabriebemissionsfaktoren in Abhängigkeit von der Straßenabriebklassifizierung den RLU<sub>S</sub>-Verkehrssituationen zugewiesen.

Für die Fahrbahnhersteller könnte zur Optimierung der Abriebemissionen das normierte Regressionsmodell nach EURO-VIA (siehe Kap. 4.4.5) angewendet werden, welches die konkreten Rezepturen der Fahrbahnbeläge quantitativ bewertet. Zur Absicherung dieser Ergebnisse sind weitere systematische Untersuchungen des Abriebverhaltens, zum Beispiel verglei-

<sup>1</sup> mit gegenüber der Standardversion von NORTRIP modifizierter Betrachtung der Sommer- und Winterreifen

chende Messungen am Road Simulator mit Stahlradversuchen, erforderlich.

Weiterhin wird empfohlen, die Güte dieses Ansatzes der zweistufigen Klassifizierung des Abriebverhaltens durch Freilandversuche an Autobahnen mit Bestimmung der AWAR-Emissionsfaktoren zu verifizieren.