

Einfluss des spektralen Absorptions- und Reflexionsgrades von Mineralstoffen auf die Wärmebilanz von Fahrbahnbefestigungen

FA 4.178

Forschungsstelle: Technische Universität Dresden, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr (Prof. Dr.-Ing. K. Roßberg)

Bearbeiter: Roßberg, K. / Eckert, M. / Carraro, U. / Bader, E.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn
Abschluss: August 2000

1. Aufgabenstellung

Die spezifischen spektralen Eigenschaften der Straßendeckschichten sind bisher ungenügend untersucht worden, was gleichermaßen für die Gesteine und die Asphalte und insbesondere für den infraroten Strahlungsbereich gilt. Die Globalstrahlung, die einen hohen Anteil infraroter Strahlungsleistung enthält, führt an Sommertagen zur Erwärmung der Straßendeckschicht, was ein Erweichen und damit eine plastische Verformung der Asphaltdeckschichten zur Folge hat und damit sowohl die Verkehrssicherheit (Spurrinnenbildung) als auch die Standfestigkeit der Straßenbefestigung negativ beeinflusst. Es kam daher darauf an, die Gesteine, die Bindemittel und die Asphalte hinsichtlich ihrer spektralen Eigenschaften (spektraler Strahlungsabsorptionsgrad) bis weit in den infraroten Strahlungsbereich hinein (bis 2500 nm) zu untersuchen, um Aussagen über das Wärmeverhalten in Verbindung mit den weiteren wärmetechnischen Eigenschaften der Deckschichten zu erhalten. Aus diesem Grunde waren gleichzeitig mit den strahlungsphysikalischen Messungen Temperaturmessungen an Asphaltproben und Straßenbefestigungen in verschiedenen Tiefen erforderlich. Die Erfassung dieser Daten erforderte spezifische Messmethoden. Hierbei kam es darauf an, die grundlegend bekannten strahlungs- und wärmetechnischen Messverfahren für die hier vorliegenden spezifischen Bedingungen aufzubereiten. Durch entsprechende lichttechnische Messungen waren korrelative Zusammenhänge zwischen Bestrahlungsstärke und Beleuchtungsstärke abzuleiten, was über empirische Daten und Näherungsverfahren gelang. Das ermöglicht Aussagen über den Wärmehaushalt der Straßendeckschicht aus der Materialzusammensetzung der Deckschicht und einfachen lichttechnischen Messungen. Bei der Auswahl der untersuchten Gesteine war eine möglichst breite territoriale Herkunft zu berücksichtigen.

2. Untersuchungsmethodik

Aufgrund der unterschiedlichen Messobjekte (Gesteine, Bindemittel, Asphalte) und der unterschiedlichen physikalischen Messgeräte (Strahlungsgrößen, lichttechnische Größen, wärmetechnische Größen) waren vielgestaltige Untersuchungsmethoden notwendig. Diese lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Messung des spektralen Strahlungsreflexionsgrades an 17 Gesteinen und 3 Bindemitteln mittels Spektralphotometer im Labor; Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit; Bestimmung der globalen Reflexionsgrade für den visuellen ($\lambda = 380$ nm bis 780 nm) und den infraroten Spektralbereich ($\lambda = 780$ nm bis 2500 nm) von den ausgewählten Gesteinen und Bindemitteln,
- Messung der strahlungsphysikalischen und lichttechnischen Eigenschaften an 19 Asphaltproben im Labor mittels Spektralphotometer,
- theoretische Ermittlung des Zusammenhangs von Bestrahlungsstärke und Beleuchtungsstärke; Die Temperaturmessungen an der Oberfläche und in unterschiedlichen Tiefen unter definierten Bestrahlungs- bzw. Beleuchtungsbedingungen erfolgte nach 3 verschiedenen Varianten:

- Messungen der Temperaturverteilung an Asphaltproben in einem Laboraufbau mit künstlicher an die Sonnenstrahlung angepasster Bestrahlung (VITALUX-Lampen),
- Messung der Temperaturverteilung an einem der Laboranordnung nachgestaltetem Aufbau im Freien unter natürlicher Sonnenbestrahlung,
- Bestrahlungsstärke und Temperaturmessung an ausgewählten Straßen unter Verkehrsbedingungen und natürlicher Sonnenbestrahlung und
- Messung von Oberflächentemperaturen an 16 Straßen und Plätzen bei gleichzeitiger Beleuchtungsstärkemessung sowie Erfassung der Lufttemperatur bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen und im tageszeitlichen Verlauf.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Gesteine

Die spektralen Strahlungsreflexionsgrade bzw. Absorptionsgrade zeigen im untersuchten Spektralbereich von 370 nm bis 2500 nm z. T. auch bei den helleren Gesteinen erhebliche Unterschiede, wobei sich die Messergebnisse in 5 Gesteinsgruppen einteilen lassen. Luxovit zeigt für den spektralen Strahlungsreflexionsgrad ρ im gesamten Bereich hohe Werte von 56 % bis 68 % mit einem auffälligen Abfall bei 950 nm. Quarzit und Quarzkiese besitzen ähnliche Kurvenverläufe mit ausgeprägten Minima bei 1460 nm und 1960 nm. Die Strahlungsreflexionsgrade liegen insgesamt bei 21 % bis 68 %. Die Granite, Granodiorit und Quarzporphyr zeigen die gleichen Minima wie Quarzit, offensichtlich ein Spezifikum für Quarz. Die Werte für den spektralen Strahlungsreflexionsgrad liegen im Mittel etwas niedriger (16 % bis 55 %). Auch der Granulit zeigt die für Quarz typischen Minima. Die Reflexionsgrade liegen jedoch niedriger als beim ähnlichen Verlauf des Granodiorits. Die Moränen und der Flusskies weisen ähnliche Verläufe des Strahlungsreflexionsgrades mit den auch hier auftretenden genannten Minima aber insgesamt niedrigeren Werten (29 % bis 41 %) auf. Dicht beieinander liegen auch die Kurvenverläufe der dunklen Gesteine Grauwacke, Diabas und Basalt, wobei hierfür nur Werte von 8 % bis 18 % erreicht werden. Stellt man Strahlungsreflexionsgrad (370 nm bis 2500 nm) und Lichtreflexionsgrad (370 nm bis 780 nm) gegenüber, so zeigen sich für die Gesteine sehr deutliche Unterschiede, die durch den Quotienten beider Werte zahlenmäßig belegbar sind. Den größten Quotienten besitzt Quarzporphyr mit 1,03, d. h. dass Luxovit über den gesamten Spektralbereich nahezu gleichmäßig reflektiert und Quarzporphyr im infraroten Bereich stärker als im sichtbaren Bereich reflektiert. Dieser Quotient ist kein Qualitätskriterium bezüglich der Gesamtreflexion, sondern drückt nur die unterschiedliche Reflexion im sichtbaren und im infraroten Spektralbereich aus. Die lichttechnischen Messungen an den Gesteinen erfolgten auf dreierlei Art:

- Messung von $\rho_{d/8}$ mittels U-Kugel
- Messung von $\rho_{8/d}$ mittels U-Kugel
- Messung des Leuchtdichtekoeffizienten $q_{-63,5}$ mittels Gonio-photometer.

Es zeigte sich, dass die beiden zuerst genannten Reflexionsgrade recht gut übereinstimmten, d. h. die Helligkeitsgrade der Gesteine gleichwertig wiedergegeben wurden. Dagegen wichen die Ergebnisse für $q_{-63,5}$ zum Teil erheblich davon ab. Diese Messung wird stark von den Streueigenschaften der Proben beeinflusst, die wiederum auch von der Probenvorbereitung abhängen, was bei den Reflexionsgradmessungen durch die integrative Kugelmessung vermieden wird.

3.2 Bindemittel

Für die verwendeten Bindemittel (B65; Mexphalt C45) wurden die Lichtreflexionsgrade bestimmt. Auf die sehr glänzenden Oberflächen der Proben sind in diesem Fall offensichtlich die Unterschiede bei den beiden Reflexionsgraden $\rho_{d/8}$ und $\rho_{8/d}$ zurückzuführen. Im Mittel kann man davon ausgehen, dass der Reflexionsgrad von B65 bei 10 % und derjenige von Me45 bei 50 % liegen.

3.3 Asphaltproben

Für die Asphaltproben wurden zunächst die Wärmeleitfähigkeit bestimmt sowie die spektralen Strahlungsreflexionsgrade und verschiedene lichttechnische Reflexionskennziffern gemessen. Die niedrigsten gemessenen Wärmeleitfähigkeiten zeigen Asphalt mit Luxovit und Diabas (1,1 bis 1,3 W/(m K)). Die übrigen Asphaltproben haben mit zunehmendem Quarzgehalt auch zunehmende Wärmeleitfähigkeit mit $\lambda = 1,6$ W/(m K) bei Granodiorit bis $\lambda = 2,9$ W/m K bei Quarzit. Die spektralen Strahlungsreflexionsgrade zeigen zum Teil eine starke Abhängigkeit von der Oberflächenbehandlung der Proben (gesägte oder gestrahlte Proben). Bei allen Proben ist der Strahlungsreflexionsgrad bei gestrahlter Oberfläche niedriger als bei gesägter, wenn auch mit unterschiedlicher Differenz. Bei einem dunklen Gestein (Basalt) ist für beide Oberflächenstrukturen nur ein geringer Unterschied feststellbar, wogegen bei Granit der Unterschied groß ist. An den 19 Asphaltproben wurden sowohl im Labor unter künstlicher Beleuchtung als auch im Freien unter natürlicher Sonnenbestrahlung Temperaturverteilung und Bestrahlungsstärke gemessen. Neben den Quarziten und Quarzkiesen sind es vor allem die Granite und Granodiorite, welche im Asphalt Temperaturerniedrigungen bis zu 10 K erbringen. Während an der Oberfläche das Reflexionsvermögen Auswirkungen hat, wirken sich nach der Tiefe immer stärker die Wärmeleitfähigkeitsunterschiede aus. Gesteine mit hohem Quarzgehalt erweisen sich dabei als günstige Varianten zur Verminderung der Asphalttemperatur unter sonnenähnlicher Bestrahlung. Bei den Messungen im Freien unter Sonnenbestrahlung wurde wie im Labor der Verlauf der Bestrahlungsstärke und der Temperaturverlauf in 3 Tiefen gemessen (1 cm, 4 cm, 8 cm). Dabei zeigten sich gegenüber den Labormessungen geringe Temperaturunterschiede zwischen den verschiedenen Asphaltproben. Als Ursache können u. a. die im Laborversuch höheren IR-Anteile der Vitalux-Lampen angesehen werden, welche die Asphalte stärker erwärmten als die übrigen Strahlungsanteile sowie nicht exakt erfassbare Witterungseinflüsse, wie Wind, Luftfeuchtigkeit u. a.

3.4 Ausgewählte Straßen bei natürlicher Sonnenbestrahlung

Für die ausgewählten Straßen wurden ebenfalls Temperaturmessungen in 3 Tiefen (1 cm, 4 cm, 8 cm) durchgeführt bei

gleichzeitiger Erfassung des Beleuchtungsstärke- (Bestrahlungsstärke-) Verlaufs. Außerdem wurden die meteorologischen Daten erfasst. An Asphalten mit unterschiedlichen Gesteinen konnten Temperaturunterschiede von 3...5 K festgestellt werden.

4. Folgerungen für die Praxis und Weiterführung der Arbeiten

Die Untersuchungen ergaben, dass die Wärmebilanz von Fahrbahndecken nicht nur vom spektralen Absorptionsgrad der verwendeten Gesteine abhängig ist, sondern neben anderen Faktoren ganz entscheidend auch von den wärmetechnischen Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität). Somit ist eine Beurteilung der Gesteine im Hinblick auf die Erwärmung der Asphaltbefestigung allein nach strahlungsphysikalischen bzw. lichttechnischen Gesichtspunkten nicht praxisrelevant. An vorliegenden Untersuchungen lassen sich erste Auswahlkriterien für Gesteine ableiten. Sie können nach einigen ergänzenden Untersuchungen in einem Merkblatt zusammengefasst werden.

Es ist nicht zu erwarten, dass die unter ganz definierten und konstanten Ausgangsbedingungen durchzuführenden Laboruntersuchungen direkt mit Messungen auf der Straße vergleichbar sind. Um jedoch festgestellte Tendenzen zu erhärten, wären weitere Vergleichsmessungen erforderlich.

Dazu sind erstens durch wissenschaftliche Institute in Verbindung mit der einschlägigen Industrie Messgeräte zur Verfügung zu stellen. Bei den praktikablen und kostengünstigen Messgeräten handelt es sich um Beleuchtungsstärkemesser (vorhanden), Infrarotthermometer (vorhanden), Temperaturmesseinrichtungen für den Einbau in die Straße (in vorliegender Arbeit erprobt), spezielles Kugelreflexionsmessgerät.

Für Letzteres sind im Rahmen der vorliegenden Arbeit konzeptionelle Gedanken entwickelt worden. In einer Folgearbeit, deren Zielstellung formuliert wurde, sollte dies umgehend realisiert werden. Für die Laborarbeiten steht ein erprobter Laborversuchsstand zur simulierten Sonnenbestrahlung von Deckschichtproben und Messung der Auswirkungen auf die Wärmebilanz zur Verfügung.

Zweitens sind die theoretischen Berechnungen zur Wärmebilanz zu vertiefen, um bei neuen Baustoffen schneller, evtl. ohne aufwendige Experimente, auf ihre Eignung schließen zu können.

Drittens sollten die technisch-physikalischen Untersuchungen durch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ergänzt werden. Dabei sind die Vorteile, die sich aus einer Verformungsbeständigkeit der Asphalte ergeben, den zusätzlichen Aufwendungen gegenüberzustellen, die durch die Verwendung ausgewählter Gesteine auftreten. □