

Projizierter Klimawandel und Dimensionierung von Straßenbefestigungen

FA 9.177

Forschungsstelle: Technische Universität Dresden, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau (Prof. Dr.-Ing. habil. F. Wellner)

Bearbeiter: Wellner, F. / Kayser, S. / Clauß, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: September 2014

1 Aufgabenstellung

Klimatologen gehen davon aus, dass sich bis Ende des 21. Jahrhunderts die globale Mitteltemperatur der bodennahen Luft um bis zu 5,4 K (Bild 1) erhöht [Nage 09, Kind 10, BMU 11]. Eine Straßenbefestigung unterliegt dem Einfluss der klimatischen Bedingungen und den Belastungszuständen, verursacht durch den Verkehr. Anhand von Testrechnungen konnte gezeigt werden, dass sich die Nutzungszeit von Asphaltbefestigungen [Kays 11] durch die von der Temperatur abhängigen Eigenschaften (Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion) wahrscheinlich verringert.

Die Klimaprojektionen zeigen weiterhin, dass sich die klimatischen Bedingungen regional unterschiedlich entwickeln. Der Einfluss auf die Nutzungszeit soll durch eine Untersuchung von sieben charakteristischen Gebieten innerhalb Deutschlands (Bild 2) geprüft werden. Die Gebiete unterscheiden sich in den klimatischen Bedingungen wie zum Beispiel der Anzahl an warmen oder kalten Tagen, der projizierten Änderungen der Jahresmitteltemperatur sowie weiteren geografischen und klimatischen Faktoren.

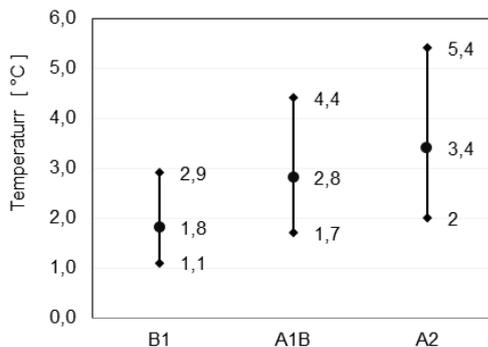


Bild 1: Wahrscheinliche Erhöhung der Jahresmitteltemperatur weltweit und mögliche Streuungen bis 2100 im Vergleich zur Mitteltemperatur 1961-1990 [Best 07]

2 Untersuchungsmethodik

Der Einfluss des projizierten Klimawandels kann mittels des Dimensionierungsverfahrens [RDO Asphalt 09] und [RDO Beton 09] bewertet werden. Die klimatischen Bedingungen der Konstruktionen dienen als Eingangswerte für die Dimensionierungsrechnungen und werden anhand von Klimadaten numerisch simuliert. Dabei werden die Temperaturzustände auf Basis der Klimaprojektionen innerhalb der Konstruktion mittels der Wärmebilanzgleichung und Wärmetransportgleichung ermittelt [Kays 07]. Für die Asphaltbauweisen bilden die Häufigkeiten

des Auftretens bestimmter Temperaturzustände, die normierten charakteristischen Temperaturverläufe (ncT) in Abhängigkeit der Oberflächentemperaturen [Kays 07] die Grundlagen für die Bewertung nach den Richtlinien, wohingegen die dickenabhängigen Differenzen zwischen den Oberflächentemperaturen und den Temperaturen an der Unterseite der Betondecke (Gradienten) und die Überschreitungshäufigkeit nach [Vill 10] für Betonbauweisen maßgebend sind.



Bild 2: Übersichtskarte der untersuchten Gebiete

Auf Basis dieser Eingangswerte werden die in den Richtlinien geforderten Nachweise erbracht. Für die Betonbauweisen wird auf die Ergebnisse der Serienrechnungen des FuE-Projekts FE 04.0197/2004/ARB [Vill 10] zurückgegriffen und die maßgebende Dicke anhand der numerisch simulierten Gradienten abgeleitet. Ergibt sich eine Änderung der Gradienten innerhalb des Betrachtungszeitraums, kann dies zu einer möglichen Dickenanpassung einer Betonbefestigung führen. Aus den zeitlichen Verläufen der erforderlichen Minstdicken lassen sich Rückschlüsse über die Notwendigkeit einer möglichen Anpassungsstrategie ableiten.

3 Untersuchungsergebnisse

3.1 Asphaltbauweisen

Die Ergebnisse der thermischen Simulation auf Basis des Regionalmodells REMO-UBA [Jaco 05] zeigen, dass die mittleren jährlichen Oberflächentemperaturen der untersuchten Befestigungen im Vergleich zu der 30-jährigen Mitteltemperatur von 1983 bis 2012 steigen (Bild 3), wobei die Einzelmonate unterschiedlich stark betroffen sind. Die projizierten Temperaturbedingungen der untersuchten Straßenbefestigungen zeigen weiterhin, dass zukünftig mit einer Erhöhung der Maximalwerte gerechnet werden muss (Bild 4).

Die erhöhten Temperaturen in einer Straßenkonstruktion führen, in Folge der temperaturabhängigen Materialeigenschaften der Asphalte, zu einer Erhöhung der Schadenssumme innerhalb eines 30-jährigen Betrachtungszeitraums (Bild 5 und Bild 6). Die Verhältniszahl gibt das auf den Bezugszeitraum von 1983 bis 2012 gemittelte und normierte Verhältnis der Scha-

denssummen an. Die Entwicklungen (vgl. Bild 5 und Bild 6), sowohl der Anstieg als auch die Spannweite, unterliegen den regionalen klimatischen Bedingungen.

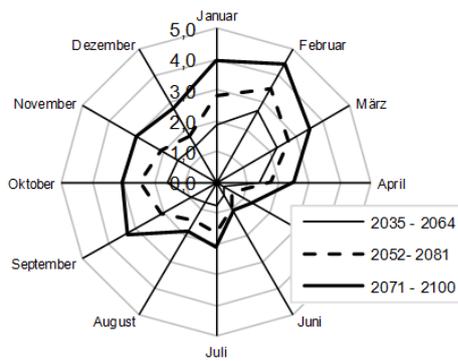


Bild 3: Änderung der mittleren 30-jährigen Oberflächentemperatur aller untersuchten Asphaltvarianten, Normierungszeitraum 1983 bis 2012

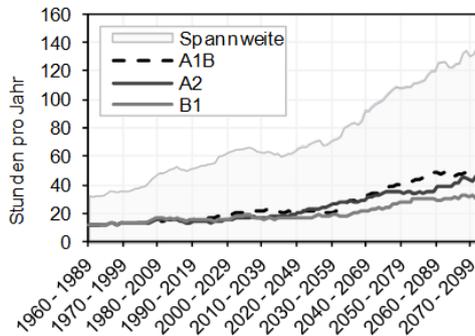


Bild 4: Anzahl der Stunden pro Jahr mit einer Oberflächentemperatur > 50 °C, 30-jähriger gleitender Mittelwert, Variante: 1-SV-A1-PA1, Mittelwert aller Gebiete

Tendenziell gilt, dass südliche Gebiete höhere Änderungen der 30-jährigen mittleren Oberflächentemperaturen als nördliche aufweisen, jedoch unterliegen alle bundesweit untersuchten Konstruktionen den Folgen der klimatischen Veränderungen. Die zukünftige Entwicklung zeigt, dass sich die klimatischen Änderungen negativ auf die untersuchten Konstruktionen auswirken.

3.2 Betonbefestigungen

Der simulierte Temperaturunterschied in der Konstruktionen führt zu unterschiedlichen Temperaturgradienten innerhalb der Betondecke und infolge dieser entstehen Momente, welche die Betondecke schädigen können. Das Dimensionierungsverfahren für Betonstraßen berücksichtigt maßgebende Gradienten, die mit einer bestimmten Überschreitungshäufigkeit innerhalb des Nutzungszeitraums auftreten. Diese Überschreitungshäufigkeiten wurden in dem FuE-Projekt FE 04.0197/2004/ARB [Vill 10] geprüft und an die projizierten thermischen Bedingungen angepasst.

Die mittleren projizierten Gradienten aller untersuchten Varianten, Regionen und Emissionsszenarien (Bild 7) zeigen für die Gradienten mit einer Überschreitungshäufigkeit von 2,5 % und 8 % keine signifikanten Änderungen bis zum Ende dieses Jahrhunderts. Die Gradienten mit einer Überschreitungshäufigkeit

von 16 % unterliegen einer Reduzierung um ca. 4 %. Die regionalen mittleren Gradienten auf Basis der Emissionsszenarien können im Einzelnen deutlich unterschiedliche Abweichungen zum normierten Mittelwert des Bezugszeitraums 1983 bis 2012 aufweisen. So ergibt sich für die Region Dresden eine maximale Differenz der normierten mittleren Gradienten mit einer Überschreitungshäufigkeit von 16 % um ca. 6 % (Bild 8).

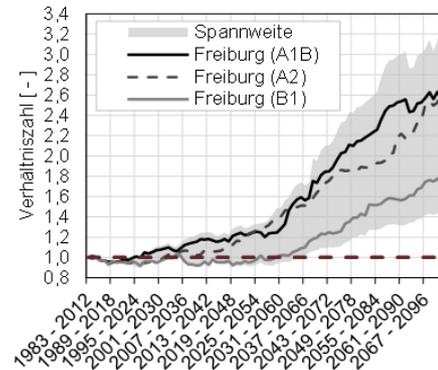


Bild 5: Relative Änderung der auf den Zeitraum 1983 bis 2012 normierten Schadenssummen (Mittelwert aller untersuchten Varianten) für das Gebiet Freiburg in Abhängigkeit der dargestellten Emissionsszenarien

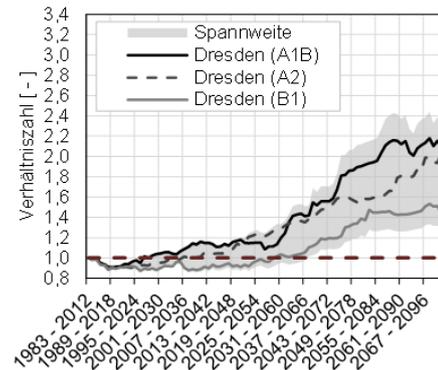


Bild 6: Relative Änderung der auf den Zeitraum 1983 bis 2012 normierten Schadenssummen (Mittelwert aller untersuchten Varianten) für das Gebiet Dresden in Abhängigkeit der dargestellten Emissionsszenarien

Basierend auf den Serienrechnungen des FuE-Projekts FE 04.0197/2004/ARB [Vill 10] werden die numerisch simulierten Gradienten mit den Eingangswerten der Serienrechnungen verglichen und die belastungsabhängige Dicke für unterschiedliche Plattengeometriekombinationen ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass in 93,3 % aller untersuchten Varianten keine Änderung der Dicke über die Zeit erfolgen muss (Bild 9). Die Veränderungen der restlichen Varianten ergeben in 97 % aller Fälle eine maximale Erhöhung der Dicke von bis zu 10 mm (Bild 10).

4 Folgerungen für die Praxis

4.1 Betonbauweisen

Der Vergleich zwischen den simulierten und den in den Serienrechnungen des FuE-Projekts FE 04.0197/2004/ARB [Vill 10] zugrunde gelegten Gradienten ergibt keine Notwendigkeit der

Anpassung der Dicke bis Ende des 21. Jahrhunderts. Die ermittelten Dicken zeigen, dass in 97 % aller untersuchten Fälle eine Erhöhung der Dicken von kleiner als 10 mm erforderlich ist. Die Untersuchungen können nicht abschließend klären, ob andere Einflussfaktoren, wie das veränderte Niederschlags- oder Frost-Tau-Wechsel-Verhalten, negative Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit der Betonbefestigungen aufweisen.

4.2 Asphaltbauweisen

Die projizierten klimatischen Bedingungen bis Ende des 21. Jahrhunderts weisen einen erheblichen Einfluss auf die untersuchten Asphaltbauweisen auf. Um den Folgen dieser Effekte entgegenzuwirken, wird eine Verbesserung der mechanischen und thermischen Eigenschaften der eingesetzten Asphalte empfohlen.

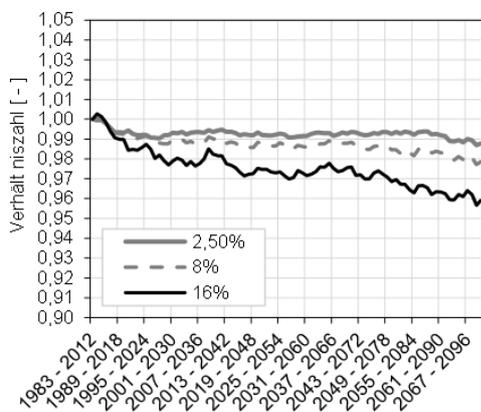


Bild 7: Relative Änderung der auf den Zeitraum 1983 bis 2012 normierten Gradienten; Mittelwert aller untersuchten Varianten und Emissionsszenarien

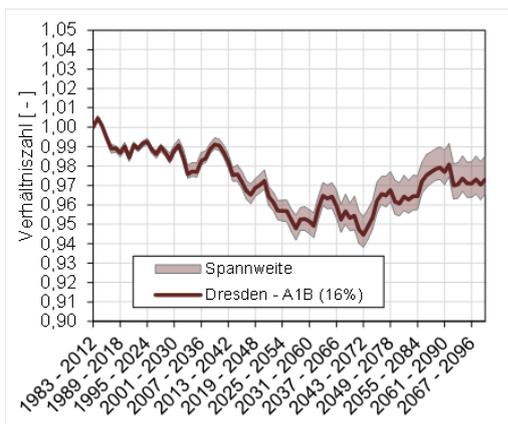


Bild 8: Relative Änderung der auf den Zeitraum 1983 bis 2012 normierten Gradienten mit einer Überschreitungshäufigkeit von 16 % für das Gebiet Dresden in Abhängigkeit der Emissionsszenarien und dem Emissionsszenario A1B

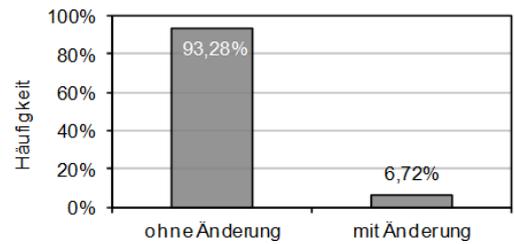


Bild 9: Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse mit oder ohne zeitliche Anpassung der Dicke

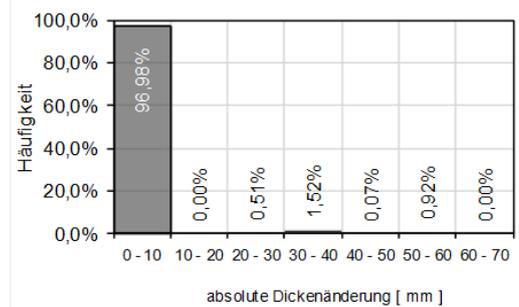


Bild 10: Histogramm der absoluten zeitlichen Dickenänderung aller positiven Ergebnisse bezüglich der Dicken der Varianten von 1983 bis 2012

Die thermophysikalischen Materialeigenschaften beeinflussen erheblich die thermischen Zustände der untersuchten Straßenkonstruktionen. Vergleicht man die Varianten PA3 und PA1 mit der mittleren Variante PA2 ergeben sich deutliche Unterschiede bei den mittleren Schadenssummen und somit auch bei den Nutzungszeiten (Bild 11). Die Parametervariante PA3 führt über alle Zeiträume, Emissionsszenarien, Bauweisen und Bauklassen zu den geringsten Schadenssummen, PA1 dagegen stets zu den höchsten Schädigungen der Konstruktionen. Dies zeigt, dass zukünftig die thermischen Eigenschaften der Straßenbaustoffe in den Dimensionierungsverfahren RDO Asphalt nicht unberücksichtigt bleiben sollten. Die Beachtung konkreter stoffspezifischer Temperaturprofile ermöglicht eine realitätsnahe Prognose der Nutzungszeit und stellt eine deutliche Verbesserung des Dimensionierungsverfahrens dar. So kann eine konkrete Dickenanpassung nur auf Basis der tatsächlichen thermophysikalischen Materialeigenschaften erfolgen. Weiterhin sollten Mindestanforderungen an die mechanischen und thermischen Materialeigenschaften in die Normen übernommen werden.

Eine weitere Maßnahme den Auswirkungen entgegen zu wirken ist die Anpassung der Dicke der Asphalttragschicht (Tabelle 1). Die Erhöhung der Asphalttragschicht kann unter anderem zu einem verstärkten Auftreten von plastischen Verformungen führen. Infolgedessen wird empfohlen, die mechanischen und thermophysikalischen Eigenschaften, unter Berücksichtigung der klimatischen Veränderungen, zu optimieren und gegebenenfalls zusätzlich die Dicke der Asphalttragschicht anzupassen.

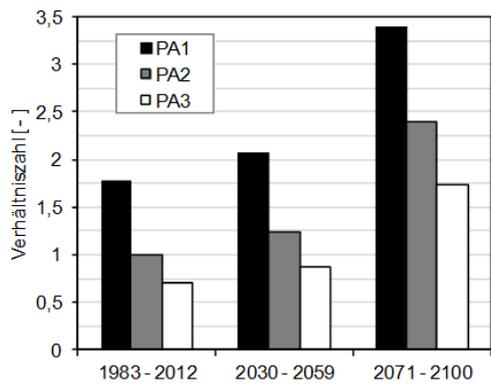


Bild 11: Relative Änderung der auf den Zeitraum 1983 bis 2012 sowie die Parametervariante PA2 normierten mittleren Schadenssummen des Emissionsszenarios A1B für drei ausgewählt 30-jährige Zeiträume

Tabelle 1: Empfohlene Dickenanpassung der Asphalttragschicht für die Bauweise Asphalttragschicht auf Frostschuttschicht für das Gebiet Dresden, REMO-UBA (A1B), Auszug

Dresden (A1B)	ATS au					
	SV			I		
	PA1	PA2	PA3	PA1	PA2	PA3
2013 - 2017	1	0	0	0	0	0
2018 - 2022	1	0	0	0	0	0
2023 - 2027	1	0	0	0	0	0
2028 - 2032	1	0	0	1	0	0
2033 - 2037	2	0	0	1	0	0
2038 - 2042	2	0	0	1	0	0
2043 - 2047	3	1	0	2	0	0
2048 - 2052	3	1	0	2	1	0
2053 - 2057	3	2	0	3	1	0
2058 - 2062	3	2	0	3	1	0
2063 - 2067	3	2	0	3	1	0
ab 2068	3	2	0	3	1	0

5 Literatur

[BMU 11] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, vom Bundeskabinett am 31. August 2011 beschlossen, 2011.

[Jaco 05] Jacob, D.: REMO CLIMATE OF THE 20th CENTURY RUN. UBA Project, 2005.

[Kays 07] Kayser, S.: Grundlagen zur Erfassung klimatischer Einflüsse für Dimensionierungsrechnungen von Asphaltbefestigungen. Dissertation, Dresden, 2007.

[Kays 11] Kayser, S.; Zeißler, A.: Impact of Climate Change on Rutting, Mexico City (Mexico), 2011.

[Kind 10] Kind, C.; Mohns, T.: Klimalotse. Leitfaden zur Anpassung an den Klimawandel, 2010.

[Nage 09] Nagel, A.; Schulz, J.; Stratenwerth, T.: Dem Klimawandel begegnen. Die Deutsche Anpassungsstrategie, 2009.

[RDO Asphalt 09] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht. Köln: FGSV Verlag, 2009.

[RDO Beton 09] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung von Betondecken im Oberbau von Verkehrsflächen. Köln: FGSV Verlag, 2010.

[Vill 10] Villaret, S.: Grundlagen zur Erfassung der Belastung für die analytische Dimensionierung von Straßenbefestigungen – Teil Betonstraßen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1050. Wirtschaftsverl. NW Verl. für Neue Wiss, Bremerhaven, 2010.