

Einfluss der Temperatur auf jungen Beton während der Nachbehandlung von Betondecken

FA 8.151

Forschungsstelle: Technische Universität München, Institut für Baustoffe und Konstruktion, MPA BAU (Prof. Dr.-Ing. P. Schießl)

Bearbeiter: Hiller, E.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn

Abschluss: Oktober 2001

stattfinden konnte; dies tritt insbesondere bei einer Fertigung der Betondecke am Morgen auf. Eine solche temperaturbedingte Schädigung kann auch auftreten, wenn die Decke durch aufgesprühte, filmbildende Nachbehandlungsmittel vor einer Austrocknung ausreichend geschützt wurde.

Folglich ist neben der Austrocknung in erster Linie der Beanspruchung des Betons durch hohe Temperaturen Beachtung zu schenken. Beide Parameter sind für eine Rissbildung in Betondecken maßgeblich.

1. Aufgabenstellung

Betonfahrbahndecken, die unter der Einwirkung hochsommerlicher klimatischer Bedingungen erhärten, können bereits im jungen Alter von wenigen Stunden und Tagen durch eine Rissbildung geschädigt werden. Eine Rissbildung wurde an Betondecken überwiegend dann festgestellt, wenn gleichzeitig mit der Hydratationswärmeentwicklung durch die Sonneneinstrahlung und hohe Lufttemperatur eine starke Erwärmung des Betons

Werden Betondecken morgens unter hochsommerlichen klimatischen Bedingungen auf einer kühlen, durch die Sonneneinstrahlung noch nicht erwärmten Tragschicht gefertigt, kann die Tragschicht dem jungen Beton zunächst an der Deckenunterseite Hydratationswärme entziehen. An der Oberfläche der Decke dagegen akkumuliert sich die Temperatur aus Hydratationswärme, Sonneneinstrahlung und Lufttemperatur. Auf Grund dieser starken oberflächlichen Erwärmung und des unterseitigen Wärmeentzugs beginnt der Beton bei unterschiedlichen Temperaturen über die Querschnittshöhe zu erhärten.

Temperaturbedingte Verformungen führen im noch sehr jungen Beton bei Zwang zunächst nur zu kleinen Spannungen. Erst durch eine Abkühlung des Betons, die mit der Abnahme der Sonneneinstrahlung und der Lufttemperatur einsetzt, können infolge der nun stark zunehmenden Steifigkeit des Betons in großen Deckenplatten in erhöhtem Maße Spannungen aufgebaut werden. Mit dem großen wirksamen Temperaturunterschied an der Oberseite (zwischen der Erhärtungs- und der aktuellen Temperatur) und dem gleichzeitig nur kleinen Temperaturunterschied an der Unterseite stellt sich infolge Zwang – insbesondere aus Eigengewicht und Reibung – ein Spannungszustand mit Zugspannungen an der Oberseite und Druckspannungen an der Unterseite ein. Die Zugspannungen können dabei die Zugfestigkeit des Betons überschreiten und dann zu meist tiefen, V-förmigen (Biege-)Rissen führen.

Eine Abkühlung kann, statt durch eine Abnahme der Sonneneinstrahlung und der Lufttemperaturen, auch durch einen kalten Gewitterregen erfolgen. Die Abkühlung geschieht in diesem Fall äußerst rasch (Temperaturschock) und kann ebenfalls zu einer Rissbildung führen. Die in diesem Zusammenhang an der Oberseite auftretenden Zugspannungen werden überwiegend durch den stark nichtlinear ausgeprägten Temperaturverlauf bestimmt, der sich infolge der raschen Abkühlung über den Deckenquerschnitt einstellt.

Wird die Betondecke nicht ausreichend vor Austrocknung geschützt, kommt zur thermischen Beanspruchung noch eine hygri-sche Beanspruchung, insbesondere in den obersten Millimetern bis Zentimetern der Betondecke, hinzu.

Die Betondecke kann vor derartigen kombinierten Beanspruchungen nur dann in ausreichender Form geschützt werden, wenn Nachbehandlungsmaßnahmen zum Einsatz kommen, die den Beton sowohl vor starker Erwärmung als auch vor dem Austrocknen schützen.

Darüber hinaus kann eine hohe thermische Beanspruchung vermindert werden, indem darauf geachtet wird, dass die stärkste Erwärmung infolge der Hydrationswärmeentwicklung nicht mit der stärksten Erwärmung infolge Sonneneinstrahlung und Lufttemperatur zusammenfällt.

Die fertige Betonfahrbahn-decke wird so früh wie möglich durch das Schneiden der Scheinfugen in kurze Plattenabschnitte unterteilt, sodass später hohe Zugspannungen durch eine gesteuerte Rissbildung in den Fugen abgebaut werden können. Damit rissursächliche Spannungen im ungünstigsten Fall nicht bereits auftreten, bevor ein Schneiden der Fugen (und ein Befahren der Platten) möglich ist, hat die Nachbehandlung in diesem Zusammenhang die Aufgabe, den erforderlichen Zeitpunkt des Fugenschnitts weiter hinaus schieben zu können.

2. Untersuchungsmethodik

Unterschiedliche Nachbehandlungsmaßnahmen wurden hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Reduzierung der thermischen und hygri-schen Beanspruchung des Betons unter hochsommerlichen klimatischen Bedingungen untersucht und bewertet. Da zwischen thermischen und hygri-schen Beanspruchungen deutliche Unterschiede in ihrer Ausprägung, in ihrer Größe und in ihren zeitlichen Verläufen bestehen, waren systematische Untersuchungen zur Ermittlung der unterschiedlichen Einflussparameter erforderlich.

Im Einzelnen wurden die zeitliche und räumliche Verteilung der Betontemperatur und des Elektrolytwiderstands (als Bewertungskriterium für die Feuchteverteilung) und orientierend der absolute Feuchteverlust an balkenförmigen und zylindrischen Betonprobekörpern bestimmt. Zusätzlich wurde an den Betonbalken die Biegeverformung (Aufwölben und Aufschüsseln) durch Messungen des Stichmaßes erfasst, sowie orientierend an den Zylindern die feuchtebedingten Formänderungen. Die

Auswertung erfolgte über eine Spannungsberechnung auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse.

Mit einer derartigen Vorgehensweise wurden Planungshilfen geschaffen, die im Hinblick auf thermische und hygri-sche Beanspruchungen einen zielgerichteten Einsatz von Nachbehandlungsmaßnahmen ermöglichen, ohne sich ausschließlich auf empirisch ermittelte Beurteilungskriterien zu stützen. So können Betonbauteile, insbesondere Fahrbahn-decken, zukünftig auch unter hochsommerlichen klimatischen Bedingungen in einer geeigneten Weise nachbehandelt und geschützt werden, mit der eine Rissbildung innerhalb des ersten Tages nach dem Betonieren sicher vermieden werden kann.

Das durchgeführte Untersuchungsprogramm umfasst Messungen, die im Rahmen von Freiland- und Laborversuchen durchgeführt wurden. In den Freiversuchen erfolgten die Messungen unter realen klimatischen Bedingungen, sodass in den gewonnenen Messwerten alle entscheidenden Einflussgrößen enthalten sind. Diese Versuche wurden auf dem Gelände des Lehrstuhls in München-Pasing durchgeführt. In den Laborversuchen wurden gezielt nur einzelne Parameter wie Lufttemperatur, Luftfeuchte, Strahlung oder Nachbehandlung variiert, um deren Einfluss einzugrenzen.

Daneben wurden Verformungskennwerte und Daten der Wärmeentwicklung des jungen Betons ermittelt, die als Eingabeparameter für die Spannungsberechnung erforderlich sind. Nach der Kalibrierung konnten mit dem Berechnungsprogramm die Praxisverhältnisse in befriedigender Weise wieder gegeben werden.

In den Berechnungen wurde die Spannungsentwicklung in Betondecken simuliert, die bei hochsommerlichen klimatischen Bedingungen entstehen können. Für Betonfahrbahn-decken mit einer üblichen Höhe von 26 cm wurden die Einflüsse unterschiedlicher Abmessungen, Lagerungsbedingungen, Betonierzeitpunkte und Nachbehandlungsmaßnahmen überprüft. Eine Berücksichtigung hygri-scher Einflüsse musste in der Berechnung für frischen bzw. jungen Beton entfallen. Durch Vergleichsrechnungen konnte aber ein untergeordneter hygri-scher Einfluss auf die Biegeverformung nachgewiesen werden.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Thermische Einflüsse

Mit geeigneten Nachbehandlungsmaßnahmen kann eine Rissbildung in Betondecken durch thermische Einflüsse zielsicher vermieden werden. Bei hochsommerlichen klimatischen Bedingungen muss die Nachbehandlung die Bestrahlung der Betonoberfläche durch Reflexion oder Beschattung stark einschränken oder verhindern. Mit einer solchen Nachbehandlung kann auch bei der Wahl eines ungünstigen Betonierzeitpunktes und bei großen Bauteilabmessungen die Gefahr einer Rissbildung an der Deckenoberseite am ersten Tag nach dem Betonieren (vor dem Schneiden der Längsscheinfugen von Deckenbreiten von z. B. 15,25 m) zielsicher vermieden werden.

Bei einer Nachbehandlung, die nicht ausreichend vor einer Bestrahlung schützt, können hohe rissursächliche Zugspannungen nur dadurch sicher vermieden werden, dass zu einem Zeitpunkt betoniert wird, zu dem die Hydrationswärmeentwicklung und die Sonneneinstrahlung zusammen mit der Lufttemperatur nicht im selben Zeitraum temperaturerhöhend wirken oder dass kleine Plattenabmessungen vorgesehen werden, bzw. große (lange) Platten vor einer Rissbildung in kleine Platten aufgeteilt werden.

Ein Betonierzeitraum, in dem bis zu einem Alter von mindestens einem Tag von einer sicheren Rissvermeidung ausgegangen werden kann, ist im Hochsommer der Bereich zwischen 14 und 2 Uhr (MESZ), auch wenn Nachbehandlungsmaßnahmen zum Einsatz kommen, die hinsichtlich der Vermeidung einer starken

Erwärmung ungeeignet sind. Wird im Zeitraum zwischen 2 Uhr morgens und 14 Uhr betoniert und der Beton nicht ausreichend vor Sonneneinstrahlung geschützt, ist mit einer Rissbildung umso früher zu rechnen, je später das Betonieren innerhalb dieses Zeitraums erfolgt.

In kurzen Platten bzw. durch entsprechende Fugenschnitte treten Zugbeanspruchungen aus Normal- und Biegespannungen nur in geringem Maß auf, da sich nach dem Reißen der Fugen die Platten überwiegend frei verformen können, d.h. Normal- und Biegespannungen in Längenänderungen und in Aufwölben/Aufschüsseln umgesetzt werden. Eigenspannungen, die keine Verformungen hervorrufen, bleiben davon unberührt und können nur durch langsame Temperaturänderungen klein gehalten werden.

3.2 Hygrische Einflüsse

Beton, der unter hochsommerlichen klimatischen Bedingungen erhärtet, ist neben einer starken Erwärmung auch einer starken Austrocknung ausgesetzt, wenn er nicht durch eine entsprechende Nachbehandlungsmaßnahme geschützt wird. Grundsätzlich führt eine tageszeitlich bedingte Austrocknung des Betons im jungen Alter von wenigen Stunden und Tagen zu vollkommen anderen Spannungsverläufen als eine Temperaturänderung infolge Hydratationswärmeentwicklung, Sonneneinstrahlung und Lufttemperatur.

Auch bei einer während des Tages scharfen Austrocknung trocknet unbehandelter Beton innerhalb des ersten Tages nach dem Betonieren überwiegend nur in einer wenige Zentimeter dicken Randzone aus. Formänderungen (an 26 cm dicken Betondecken), die auf die Austrocknung zurückgeführt werden können, beschränken sich daher ebenfalls auf die Randzone. Längenänderungen und das Aufwölben/Aufschüsseln sind daher nur kleine Spannungen, die sich bei Zwang aus den Formänderungen ergeben, und weisen im Randbereich ihre Maxima auf. Die gesamte Spannung über den Querschnitt wird daher maßgeblich vom Anteil der Eigenspannungen dominiert. Normal- und Biegespannungen sind demgegenüber nur unbedeutend.

Während sich also, unter nur tageszeitlich ändernden hochsommerlichen klimatischen Bedingungen, aus der Temperaturbeanspruchung überwiegend Biege- und bei behinderter Längenänderung Normalspannungen ergeben, führt eine Beanspruchung durch Austrocknung überwiegend zu Eigenspannungen. Eine Schädigung des Betons infolge Austrocknung beschränkt sich daher überwiegend auf Oberflächenrisse.

3.3 Kombination von thermischen und hygrischen Einflüssen

Eine Nachbehandlungsmaßnahme, die den Beton vor starker Erwärmung schützt, wie beispielsweise eine Beschattung durch ein Zelt, muss nicht generell auch vor Austrocknung schützen. Gleiches gilt auch umgekehrt, eine Nachbehandlung mit Folie oder mit einem Nachbehandlungsmittel schützt beispielsweise vor Austrocknung, nicht aber vor starker Erwärmung. In diesem Zusammenhang sind Nachbehandlungsmaßnahmen oder Kombinationen von Nachbehandlungsmaßnahmen zu

wählen, die sowohl eine starke Erwärmung als auch ein Austrocknen stark einschränken.

Ein Zusammenwirken thermischer und hygrischer Spannungen hat in der Summe vor allem in der Randzone höhere Spannungen zur Folge, sodass eine Rissentstehung bei entsprechenden Randbedingungen früher auftreten kann.

4. Folgerungen

Für das Betonieren im Hochsommer sind Nachbehandlungsmaßnahmen zu empfehlen, die eine Beanspruchung durch Erwärmung und Austrocknung gleichermaßen stark einschränken.

Unter baupraktischen Bedingungen sind dabei filmbildende Nachbehandlungsmittel mit erhöhtem Hellbezugswert, die sowohl reflektierend als auch austrocknungshemmend wirken, besonders geeignet. Unter Berücksichtigung der hochsommerlichen klimatischen Bedingungen in Deutschland, wie sie auch den hier durchgeführten Messungen zu Grunde liegen, ist ihr Einsatz von Juni bis September empfehlenswert.

Reflektierende (metallisch beschichtete) Kunststofffolien wirken in gleicher Weise wie Nachbehandlungsmittel mit erhöhtem Hellbezugswert und sind ebenfalls geeignet. Ein Einsatz im Betonstraßenbau scheint allerdings nur für Reparaturlose mit kleinen Abmessungen sinnvoll. Aufliegende Folien können die Textur zerstören oder bei Wind wegfiegen.

Feuchte Jutetücher bieten ebenfalls einen geeigneten Schutz. Sie wirken Schatten spendend und Feuchte haltend und vermindern, auch durch Verdunstungskälte, eine Erwärmung und ein Austrocknen. Eine regelmäßige Wiederbefeuchtung der Jutetücher ist für einen durchgängigen Schutz zweckmäßig.

Ein Aufsprühen von Wasser schützt vor Austrocknung und bei ausreichend starker Verdunstung auch vor einer starken Erwärmung. Eine Kühlung durch niedrige Wassertemperaturen sollte vermieden werden, um den Beton beim Aufsprühen des Wassers nicht einem Temperaturschock auszusetzen. In diesem Zusammenhang ist es sinnvoll, den Beton z. B. durch ein Zelt zusätzlich vor Sonneneinstrahlung zu schützen.

Ein solches Vorgehen ist auch beim Einsatz herkömmlicher filmbildender Nachbehandlungsmittel zu empfehlen, die allein keinen Schutz vor der Sonneneinstrahlung bieten.

Zelte allein bieten keinen kombinierten Schutz vor Erwärmung und Austrocknung, da ein Austrocknen weiterhin möglich ist und durch eine Kaminwirkung die Austrocknung sogar noch verstärkt und beschleunigt werden kann.

Besondere Aufmerksamkeit gilt den Nachbehandlungsmaßnahmen im Hinblick auf einen plötzlichen Temperaturschock im jungen Alter, der in den meisten Fällen durch einen kalten Gewitterregen verursacht wird und zu hohen Eigenzugspannungen an der Oberseite führen kann.

Bei Nachbehandlungsmaßnahmen, mit denen nicht verhindert werden kann, dass kalter Gewitterregen die Betonoberfläche direkt abkühlt, sollte der Einsatz von Dämmmatten, die während des Regens auf den Beton ausgerollt werden, in Erwägung gezogen werden. Am Sichersten erscheint hier der Einsatz von Zelten, mit denen ein Zutritt des kalten Regens auf die Betonoberfläche ausgeschlossen werden kann. □