

**Bestimmung des Sperrkoeffizienten nach TL NBM-StB 96**

FA 8.174

Forschungsstelle: Bauhaus-Universität Weimar, Institut für Baustoffkunde (Prof. Dr.-Ing. J. Stark)

Bearbeiter: Frentzel-Schirmacher, A.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: November 2005

**1. Zielstellung**

Die Bewertung der Sperrwirkung eines flüssigen filmbildenden Nachbehandlungsmittels gemäß TL NBM-StB 96 [1] erfolgt auf der Basis eines Koeffizienten aus der durch einen Nachbehandlungsmittelauftrag erreichten Minderung der Wasserabgabe eines Betons zur Wasserabgabe eines unbehandelten Betons ab dem Auftragszeitpunkt des Nachbehandlungsmittels. Der arithmetische Mittelwert aus den zu den Zeitpunkten 24, 72 und 168 Stunden nach Auftrag ermittelten Koeffizienten  $s_1$ ,  $s_3$  und  $s_7$  ergibt den mittleren Sperrkoeffizienten  $S$  für den Zeitraum vom Auftrag bis zu einem Alter von 7 Tagen. Der Auftrag soll auf die mattfeuchte Oberfläche erfolgen. Dieser Zustand wird visuell vom Laboranten bestimmt.

Genauigkeit und Reproduzierbarkeit dieses Verfahrens sind in der Diskussion. Die Empfindlichkeit der Messung gegenüber äußeren Einflüssen, der enorme Aufwand, die starke Abhängigkeit der Ergebnisse von der Zusammensetzung und Textur des Untergrundes sowie von der Durchführung des Laboranten stehen in der Kritik.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Überprüfung der Kritikpunkte des aktuellen Verfahrens und dessen Umgestaltung im Anschluss an die Betrachtung der einzelnen Einflussgrößen.

**2. Untersuchungsmethodik**

Ausgangspunkt des Projektes waren Interviews mit den jeweiligen Bearbeitern in den werkseigenen Prüflabors und dem derzeitigen einzigen Fremdüberwacher, um die Problempunkte des Verfahrens zu erfassen und die Arbeitsweisen und Versuchsbedingungen zu vergleichen.

Ein erster Ringversuch mit fünf eigenen Laboranten und vier externen Labors gab Hinweise auf die Wiederholstreuung und die Vergleichsstreuung des Versuchs, sowie auf die Streuung unter der Zwischenbedingung "wechselndes Personal". Ziel des Ringversuches war es, Aussagen über den zeitlichen Ablauf des manuellen Versuchsteils, insbesondere der Wahl des Auftragszeitpunktes, und die daraus resultierende Streuung des Versuchsergebnisses zu gewinnen.

Ausgehend von den Erkenntnissen des ersten Forschungsabschnittes wurden in einem zweiten Forschungsabschnitt die einzelnen erkannten und nachgewiesenen Einflussgrößen: Auftragszeitpunkt, verwendete Zementart, Oberflächentextur, Prüfkörperhöhe, umgebende Klimabedingungen, Eigenfeuchteverlust des Nachbehandlungsmittels und Randversiegelung gezielt variiert.

In Auswertung dieser Laborergebnisse und aktuellen Veröffentlichungen zum Forschungsthema wurde das Prüfverfahren in einem 3. Forschungsabschnitt überarbeitet und mit Hilfe eines zweiten Ringversuches am Ende des Forschungsprogramms

überprüft. In Auswertung des abschließenden Ringversuches erfolgte eine erneute Überarbeitung der Prüfvorschrift.

**3. Ergebnisse**

Die Haupteinflussgröße auf die Höhe des ermittelten Sperrkoeffizienten gemäß TL NBM-StB 96 [1] ist der aktuelle Oberflächenzustand zum Auftragszeitpunkt, hinsichtlich seiner Oberflächenfeuchte und des Gefügeentwicklungszustandes des Zementsteins. Er wird durch die umgebenden Klimabedingungen sowie die Wahl des Zementes bestimmt. Eine Entscheidung über den Auftragszeitpunkt auf der Basis einer visuellen Oberflächenbewertung kann zu erheblichen Fehleinschätzungen führen, da es sich um einen fließenden Übergang von einer feuchten zu einer trockenen Oberfläche handelt, dessen Beginn und Ende durch unterschiedliches Personal unterschiedlich bewertet wird. Dieser Einfluss wurde im Rahmen des Ringversuches I nachgewiesen. Das kann zu Über- und Unterbewertungen der Leistungsfähigkeit eines Nachbehandlungsmittels führen.

Für das Verständnis der Auswirkungen der einzelnen Einflussfaktoren auf das Ermittlungsergebnis ist die Kenntnis der während der Prüfung ablaufenden Prozesse notwendig.

Die Berechnung der Sperrwirkung beruht auf dem Verhältnis der Wasserabgaben nachbehandelter und nichtnachbehandelter Betonoberflächen. Um möglichst hohe Ausgangsmesswerte für die Berechnung zu erhalten, werden hohe Zementgehalte mit einem für den Straßenbau typischen  $w/z$ -Wert von 0,42 kombiniert. Durch die Höhe des Zementgehaltes gewinnt der Zement an Einfluss auf die Blutungsneigung des als Prüfuntergrund verwendeten Betons. Da die Filmbildungseigenschaften eines Nachbehandlungsmittels stark von den Feuchtebedingungen des Untergrundes abhängen, ist eine Blutungsfreiheit des verwendeten Betons zwingend notwendig. Durch den Einsatz von Kalksteinmehl im Mehlkornbereich kann das Bluten des Betons unterbunden werden. Bei Blutungsfreiheit des Betonuntergrundes werden unter gleichen Umgebungsbedingungen unabhängig vom verwendeten Zement vergleichbare Wasserabgaben während der ersten Wasserabgabeperiode erzielt. Mit Einsetzen der Accelerationsperiode, etwa 3 Stunden nach Mischende in Abhängigkeit vom Zement, setzt bei der geforderten Klimalagerung bei 30 °C und 40 % r. F. der Einfluss des Zementes auf die Intensität der Wasserabgabe ein. Zwei kontraproduktive Einflüsse spielen für die tatsächlich erzielte Wasserabgabe in dieser zweiten Phase eine Rolle. In Abhängigkeit von der Reaktivität des Zementes beschleunigt die freigesetzte Hydratationswärme die Wasserabgabe, während sie in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Gefügeentwicklung behindert wird. Reaktive Zemente liefern somit anfänglich eine erhöhte Wasserabgabe, die jedoch rasch durch die sich entwickelnde Gefügedichtigkeit beschränkt wird. Weniger reaktive, grobe Zemente unterliegen aufgrund der langsamen Gefügeentwicklung länger dem Einfluss der äußeren Bedingungen und geben damit insgesamt mehr Feuchtigkeit ab. Die geringere erreichte Gefügedichtigkeit verstärkt die Wasserabgabe zusätzlich. Der Effekt der zunehmenden Wasserabgabe wird insbesondere unter der Klimabedingung 30 °C und 40 % r. F. im Zeitraum bis 6 Stunden nach Mischende beobachtet.

Unter der Klimabedingung 20 °C und 65 % r.F. trat die zunehmende Wasserabgabe bis zum Zeitpunkt 6 Stunden nach Mischende noch nicht ein. Die Wasserabgaben bleiben kon-

stant auf einem niedrigeren Niveau als bei einer 30 °C-Lagerung kombiniert mit niedrigerer Luftfeuchtigkeit. Bei zusätzlicher Windbelastung, untersucht bei 20 °C, wird die Wasserabgabe in der Periode 0 bis 6 Stunden in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit intensiv gefördert. Durch Überschreitung der Transportkapazität des Gefüges bei der Nachlieferung von Wasser an die Oberfläche nimmt die Wasserabgabe auch in diesem Zeitraum in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit mit zunehmender Zeit ab. Mit Ausbildung eines Grundgefüges im Zeitraum 6 bis 24 Stunden ist kein verstärkter Einfluss der Windgeschwindigkeit mehr spürbar. Es verbleibt nur eine leichte Verstärkung im Vergleich zu einer Lagerung ohne Wind. Im weiteren Verlauf nach 24 Stunden nimmt die Windgeschwindigkeit gar keinen Einfluss mehr auf die Wasserabgabe. Hier wirken lediglich die erhöhte Temperatur und die niedrigere Luftfeuchtigkeit im Klima 30 °C / 40 % r.F. leicht verdunstungsfördernd. Bei starker Variation des Klimas, z. B. durch zusätzlichen Wind und Absenkung der Temperatur, sind daher durch die Beeinflussung des Wasserabgabe- und Hydratationsverhaltens Einflüsse auf das Ermittlungsergebnis des Sperrkoeffizienten unvermeidlich.

Es wurde festgestellt, dass sich bei einer 30 °C-Lagerung die Filmbildungsbedingungen für frühe Auftragszeitpunkte verschlechtern und sich damit die erzielte Sperrwirkung verschlechtert. Durch zusätzlichen Windeinsatz, untersucht bei 20 °C, direkt nach Herstellungsende verbessern sich die Filmbildungsbedingungen bei einer Windgeschwindigkeit von 4 m/s spürbar. Es wurde auf der Basis dieser Ergebnisse entschieden, bei einer Lagerung der Prüfkörper im Klima 30 °C / 40 % r.F. ohne Windbelastung zu verbleiben.

Grundsätzlich ist die Effektivität des Nachbehandlungsmittelfilms vom Trocknungszustand des Betonuntergrundes abhängig. Mit zunehmender Trocknung, einhergehend mit einem späteren Auftragszeitpunkt, steigt die gemäß TL NBM-StB 96 [1] ermittelte Sperrwirkung  $s_1$  bis zum Erreichen einer maximalen Sperrwirkung linear an. Danach erfolgt gegebenenfalls noch eine leichte Zunahme. Gleichzeitig mit zunehmend späterem Auftragszeitpunkt steigt die vor Auftrag des Nachbehandlungsmittels abgegebene Wassermenge. Ab einem bestimmten Zeitpunkt überschreitet die Gesamtwasserabgabe der nachbehandelten Prüfkörper trotz "optimaler" Verfilmung die Gesamtwasserabgabe der Prüfkörper mit "schlechter" Verfilmung durch einen zu frühen Auftrag. Durch Einbeziehung des Gesamtwasserverlustes wird bei einer auftragszeitabhängigen Bestimmung der Sperrwirkung ein optimaler Auftragszeitpunkt ermittelt, in dem das Verhältnis aus der Minderung der Wasserabgabe durch die Nachbehandlung zur Wasserabgabe des nichtnachbehandelten Betons maximal wird. Der gemäß TL NBM-StB 96 [1] ermittelte Sperrkoeffizient  $s_1$  hat zu diesem Zeitpunkt seinen Maximalwert noch nicht erreicht, solange die maximal mögliche Filmdichtigkeit noch nicht erreicht wurde. Dieser Sperrkoeffizient fällt erst zu einem späteren Zeitpunkt durch das sich insgesamt verringere Verhältnis zwischen nichtnachbehandelter und nachbehandelter Prüferie ab, nachdem die maximale Filmdichtigkeit erreicht wurde. Ein beliebig später Auftrag führt somit ebenso wie ein zu früher Auftrag zu einer Verfälschung der Ermittlungsergebnisse. Sinnvoll ist eine Ermittlung eines integralen Sperrkoeffizienten  $S_{0-24}$  unter Einbeziehung der Verdunstung, durch den direkten Zusammenhang zwischen Trocknungszustand und erzielter Sperrwirkung. Ein sinnvoller  $S_{0-24}$ -Wert kann jedoch nur in Zusammenhang mit mehreren Messwerten zu variierenden Auftragszeitpunkten ermittelt werden, da insbesondere neben dem Trocknungseinfluss auch der Zement einen Einfluss auf die Wirksamkeit des Nachbehandlungsmittels zu einem bestimmten Zeitpunkt hat.

Wie bereits dargelegt, unterscheidet sich die Wasserabgabe von Betonen bei Verwendung unterschiedlich reaktiver Zemente nach Einsetzen der Accelerationsperiode unter gleichen

Klimabedingungen. In Abhängigkeit von der Art des gewählten Zementes wurden Einflüsse auf die Wasserabgabe der nichtnachbehandelten Betone im Zeitraum 4 bis 24 Stunden nachgewiesen. Diese wirken sich jedoch ebenfalls auf die Wasserabgaben der Betone nach Nachbehandlungsmittelauftrag aus. Betone mit schnellen Zementen liefern zu vergleichbaren Zeitpunkten bessere Sperrwirkungen als mit langsamen Zementen. Da die Betone mit weniger reaktiven Zementen nach 24 Stunden vergleichsweise mehr Wasser im Zeitraum bis 24 Stunden abgeben, können trotzdem vergleichbare Sperrkoeffizienten zu vergleichbaren Zeitpunkten ermittelt werden. Sowohl im Rahmen der Hauptversuche als auch im Ringversuch II kam jedoch jeweils ein Beton zum Einsatz, in dem sich ein langsamer Gefügeausbildungsbeginn mit einem dichten Endgefüge nach 24 Stunden verband, sodass schlechte Untergrundbedingungen bei der Filmbildung mit einem niedrigen Referenzwert nach 24 Stunden kombiniert wurden. Aus der Kombination einer schlechten Filmbildung mit einer geringen Wasserabgabe der Referenzprüfkörper resultierten deutlich unterdurchschnittliche Ermittlungsergebnisse.

Im Zeitraum nach 24 Stunden unterscheiden sich die Wasserabgaben der nachbehandelten und der nichtnachbehandelten Prüfkörper nicht mehr so signifikant voneinander. Die Hauptwasserabgabe auch der nichtnachbehandelten Betone ist abgeschlossen. Bei "schlechter" Verfilmung überschreiten die Wasserabgaben der nachbehandelten Prüfkörper jetzt die Wasserabgaben der nichtnachbehandelten Prüfkörper. Es werden bei einer separaten Berechnung innerhalb des Zeitraumes 24 bis 72 Stunden negative Sperrkoeffizienten ermittelt. Mit zunehmend verbesserter Anfangsfilmbildung verbessert sich tendenziell auch die Sperrwirkung in diesem Zeitabschnitt. Die ermittelten Sperrkoeffizienten unterliegen jedoch deutlich stärkeren Schwankungen als die im Zeitraum bis 24 Stunden ermittelten Werte. Durch den jetzt stattfindenden reinen Wasserdampftransport im Betongefüge bewirken geringe Schwachstellen im Nachbehandlungsmittelfilm, verursacht durch einen ungleichmäßigen Auftrag oder Undichtigkeiten in der Randversiegelung, große Streuungen in den Ermittlungsergebnissen. Durch die Gesamtbetrachtung der jeweiligen Zeiträume bis 3 bzw. bis 7 Tage nach dem Nachbehandlungsmittelauftrag gemäß TL NBM-StB 96 [1] fallen diese Schwankungen weniger stark ins Gewicht, verursachen jedoch ebenfalls einen mehr oder weniger starken Abfall der ermittelten Sperrkoeffizienten  $s_3$  und  $s_7$  und damit eine Schwankung des arithmetischen Mittelwertes  $S$ . Der Hauptkritikpunkt in Bezug auf die Ermittlung integraler Sperrwerte bis 3 bzw. 7 Tage beginnend vom Auftragszeitpunkt ist jedoch, dass sie dem Nutzer keine Vorstellung von der tatsächlichen Wirksamkeit der Maßnahme in diesem Zeitraum geben. Die Hauptwirksamkeit eines Nachbehandlungsmittels liegt im Schutz des Betons während der Hauptwasserabgabephase in den ersten 24 Stunden. Es sollten demzufolge auch nur Werte für diesen Zeitraum angegeben werden. Auf Werte im Zeitraum nach 24 Stunden sollte verzichtet werden.

Insbesondere die modernen schnell verfilmenden Mittel liefern bei herkömmlicher Ermittlung gemäß TL NBM-StB 96 [1] Sperrkoeffizienten  $s_1$  über 100 %. Dies ist auf die Einbindung eines Teils des als Dispersionsmittel dienenden Wassers in die Randzone des Betons zurückzuführen. Durch die schnelle Verfilmung der Mittel kann das Wasser nicht aus dem Beton entweichen. Da jedoch das gesamte, aus dem Nachbehandlungsmittel kommende Wasser vom Gesamtwasserverlust des Betons abgezogen wird, entstehen im Verlauf der Wasserabgabekurven der nachbehandelten Prüfkörper zeitweise scheinbar negative Wasserabgaben. Während die Wasserabgabe der Nachbehandlungsmittel auf einem nicht saugenden Untergrund (Glasplatte) relativ schnell abgeschlossen ist, dauert sie auf einem Betonuntergrund deutlich länger, ist jedoch nach

24 Stunden ebenfalls abgeschlossen. Besonders in der Anfangsphase kommt es deshalb bei der Berechnung der Wasserabgabe des Gesamtsystems zu einer Überhöhung des "Nassnachbehandlungseffektes" aus dem Nachbehandlungsmittel. Eine Berechnung vor 24 Stunden bietet sich deshalb nicht an. Zum Zeitpunkt 24 Stunden ist die Wasserabgabe des Nachbehandlungsmittels sicher abgeschlossen. Im Beton verbleibendes Wasser aus dem Nachbehandlungsmittel steht dem Beton tatsächlich zur Verfügung und wird in die Hydratationsprodukte eingebaut. Vom Standpunkt der reinen Gegenwart zusätzlichen Wassers ist die Berechnung, wie sie gegenwärtig von der TL NBM-StB 96 [1] vorgesehen ist, korrekt.

Die Wirksamkeit eines Nachbehandlungsmittelfilmes hängt in gewissen Grenzen von den Oberflächeneigenschaften des Betonuntergrundes ab. Es kann deshalb auf das Aufbringen einer Textur auf die Oberfläche der Prüfkörper nicht verzichtet werden. Durch das Aufbringen der Textur mit einem Kokoshaarbesen werden Texturen erzielt, die im unteren Bereich hinsichtlich der Makrotextur in Bezug auf praxisrelevante Jutetexturen [2] liegen. Bei Verwendung ähnlicher Besen in verschiedenen Labors entstehen vergleichbare Texturen, die die Ermittlungsergebnisse nicht spürbar beeinflussen. Erst durch eine deutliche Überhöhung der Rauigkeit hinsichtlich Kernrautiefe sowie der Mikro- und Makrokennamplitudenwerte kommt es zu einem signifikanten Abfall des ermittelten Sperrkoeffizienten. Für eine Prüfung im oberen Rauigkeitsbereich praxisrelevanter Texturen gibt es bisher keine Lösung, da bei der Verwendung gröberer Hilfsmittel, wie z. B. eines Piassavabesens, der Einfluss des Laboranten und der Konsistenz des Untergrundes überproportional steigt.

Auf der Basis der Ergebnisse der Hauptversuche und aktuellen Veröffentlichungen zum Thema wurde die aktuelle Prüfvorschrift überarbeitet und durch einen Ringversuch überprüft. Es wurde eine zeitliche Fixierung des Auftragszeitpunktes und eine prüftechnische Ermittlung eines "optimalen" Auftragszeitpunktes betrachtet.

Durch den prüftechnisch zu ermittelnden Auftragszeitpunkt nach HUBER UND CZERNER [3] sollten vergleichbare Trocknungszustände der Oberflächen, durch einen Ansaugtest mit Lackmuspapierstreifen sichergestellt werden. Die Festlegung der zeitlich fixierten Auftragszeitpunkte resultierte aus den Versuchsergebnissen der Hauptversuche im eigenen Labor. Zwei Stunden nach Mischende war dort für keinen der verwendeten Zemente ein optimaler Auftragszeitpunkt bezogen auf die Gesamtwasserabgabe bis 24 Stunden nach Mischende erfasst worden. Dieser lag in allen Fällen bei etwa 3 Stunden nach Mischende und war 4 Stunden nach Mischende bereits überschritten. Diese Erfahrung sollte durch die Überprüfung in anderen Labors mit mäßig abweichenden Klimabedingungen überprüft werden. Beide Ansätze allein führten nicht zum Ziel, da der "optimale" Auftragszeitpunkt immer ein Ergebnis aus umgebenden Klimabedingungen und Gefügeentwicklung des verwendeten Zementes ist. Es wird deshalb für die im Anschluss nochmals überarbeitete Prüfvorschrift eine Kombination aus beiden Verfahren empfohlen.

Einen wesentlichen Einfluss auf den Auftragszeitpunkt haben die umgebenden Klimabedingungen, da diese insbesondere in der Anfangsphase die Wasserabgabe bestimmen. Durch die prüftechnische Bestimmung des Auftragszeitpunktes wird dem Einfluss der aktuellen Umgebungsbedingungen Rechnung getragen. Besonders auf langsamen Zementen erreichen die Nachbehandlungsmittel jedoch erst zu einem späteren Zeitpunkt ihre optimale Wirksamkeit und damit einen vergleichbaren Sperrkoeffizienten. Durch die Berechnung eines integralen Sperrkoeffizienten  $S_{0-24}$  wird dem Einfluss des Zementes zusätzlich Rechnung getragen. Bei einer Kombination beider Verfahren zur Festlegung des Auftragszeitpunktes, Vergleich

verschiedener Auftragszeitpunkte und prüftechnische Bestimmung des Auftragszeitpunktes, scheint eine gute Absicherung der Angabe eines optimalen, weder zu niedrigen noch zu hohen Sperrkoeffizienten in verschiedenen Labors möglich zu sein. Ausgeschlossen werden muss jedoch, dass ein grundsätzlich ungeeigneter Zement verwendet wird, auf dem die entsprechenden Sperrwirkungen gar nicht erreicht werden. Um welche Zemente es sich dabei handelt, war auf der Basis der herangezogenen Kennwerte nicht sicher voraussagbar. Eine Einigung auf einen speziellen Prüfzement innerhalb Deutschlands wäre sinnvoll, um den Zementeinfluss auf die Ermittlungsergebnisse sicher auszuschließen.

Zur Festlegung des optimalen Auftragszeitpunktes wird empfohlen, in einem Vorversuch den hinsichtlich des Trocknungszustandes der Oberfläche optimalen Auftragszeitpunkt zu ermitteln und für den Hauptversuch zwei Auftragszeitpunkte, jeweils 30 Minuten vor und nach diesem anzuordnen. Zur Überprüfung, ob zu allen Auftragszeitpunkten ein gleichmäßiger, guter Auftrag stattgefunden hat, kann mit Hilfe der Berechnung des Anstieges, in Form des erreichten Knickwinkels nach Auftrag bis 24 Stunden, abgeschätzt werden. Dieser sollte langsam ansteigen, darf stagnieren, jedoch nicht abfallen. Bei einem Wechsel des Zementes sollte eine Referenzmessung mit einem dem Labor bekannten Nachbehandlungsmittel durchgeführt werden, um dessen Gleichwertigkeit abzusichern.

Die im Rahmen des Ringversuches II gemäß DIN ISO 5725 [4] ermittelten Wiederholvarianzen waren sehr gut, die Varianzen zwischen den Laboren zum optimalen Auftragszeitpunkt waren jedoch noch nicht zufriedenstellend. Die geschätzte Wiederholvarianz  $s_r^2$  bezogen auf einen integralen Sperrkoeffizienten  $S_{0-24}$  von 72 % betrug 5,85. Die geschätzte Varianz zwischen den Labors  $s_L^2$  betrug 54,5. Das entspricht einem Variationskoeffizienten von 10,4 %. Die Varianz zwischen den Laboren war für den Sperrkoeffizienten  $s_1$  etwas höher. Für einen mittleren Sperrkoeffizienten  $s_1$  von 86 % zum optimalen Auftragszeitpunkt wurde eine Wiederholvarianz  $s_r^2$  von 1,0 und eine Vergleichvarianz  $s_L^2$  zwischen den Laboren von 98,7 ermittelt. Das entspricht einem Variationskoeffizienten von 11,6 %. Aufgrund der geringen Anzahl der teilnehmenden Labors ist die Sicherheit der ermittelten Präzisionsdaten jedoch als gering einzuschätzen.

Aus den Erfahrungen der Hauptversuche und der beiden Ringversuche wurde das in Bild 1 dargestellte Versuchsprogramm zur Prüfung der Sperrwirkung flüssiger Nachbehandlungsmittel abgeleitet. Ziel des überarbeiteten Prüfprogramms ist der weitgehende Ausschluss einer Über- bzw. Unterbewertung eines flüssigen Nachbehandlungsmittels. Durch die Ermittlung integraler Sperrkoeffizienten  $S_{0-24}$  unter Einbeziehung der Vorverdunstung ist es möglich den optimalen Zeitpunkt des Auftrages zu ermitteln und zu frühe sowie zu späte Auftragszeitpunkte auszuschließen. Die Wirksamkeit des Nachbehandlungsmittels selbst sollte jedoch weiterhin entsprechend seiner Wirksamkeit ab Auftrag bewertet werden. Es wird deshalb die Berechnung eines Sperrkoeffizienten  $S$  vorgeschlagen, der dem derzeitigen Sperrkoeffizienten  $s_1$  gemäß TL NBM-StB 96 [1] entspricht. Da die Hauptwirkung dieser Mittel im Zeitraum bis 24 Stunden liegt und die für spätere Zeiträume ermittelten Ergebnisse stark streuen, sollte sich auf die Ermittlung und Beurteilung der Wirksamkeit auf den Zeitraum bis 24 Stunden beschränkt werden.

Es darf bei der Interpretation der Ermittlungsergebnisse jedoch nicht übersehen werden, dass es sich um eine optimale Sperrwirkung unter feststehenden Randbedingungen handelt. Es ist mit dem Ermittlungsergebnis nicht abgesichert, dass die genannte Sperrwirkung im Einsatz auf der Baustelle tatsächlich eintritt.

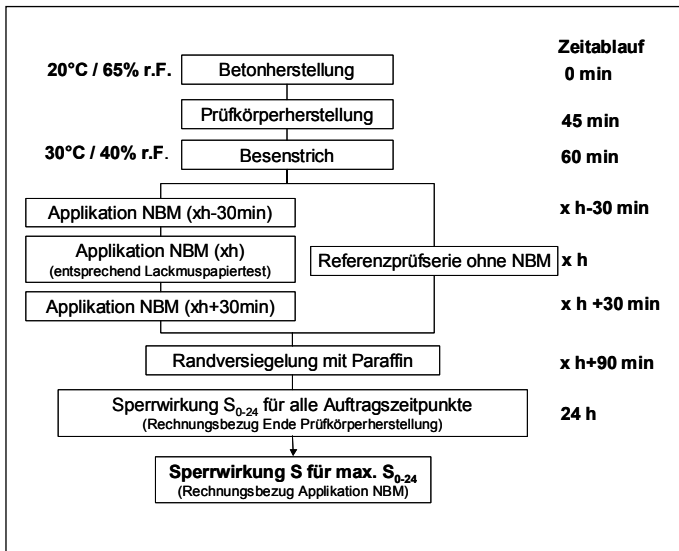


Bild 1:

Überarbeiteter Prüfablauf zur Bestimmung der Sperrwirkung flüssiger Nachbehandlungsmittel

Literaturverzeichnis

- [1] TL NBM-StB 96: Technische Lieferbedingungen für flüssige Beton-Nachbehandlungsmittel, Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln, Ausgabe 1996
- [2] Schießl, P.; Beckhaus, K.; Wenzl, P.: Dauerhaftigkeit von Betondeckenoberflächen, in Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Heft 902, BMVBW, 2004
- [3] Huber, J; Czerner, Chr.: Bestimmung des optimalen Auftragszeitpunktes von Nachbehandlungsmitteln (NBM), Kurzmittellungen des cbm, Nr. 2, 2005
- [4] DIN ISO 5725: Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen, Teil 1 bis 6, November 1997