

## Bemessungsgrundlagen für den frostsicheren Oberbau von Verkehrsflächen

FA 89.027

Forschungsstelle: Brandenburgische Technische Universität,  
Lehrstuhl für Bodenmechanik und Grund-  
bau/Geotechnik, Cottbus (Prof. Dr.-Ing.  
L. Wichter)

Bearbeiter: Lottmann, A. / Haltenorth, G. /  
Richter, F.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch  
Gladbach

Abschluss: Mai 1999

### 1. Aufgabenstellung

In der Literaturstudie war der gegenwärtige Kenntnisstand zur Bemessung des frostsicheren Oberbaus darzustellen. Aufbauend auf dem Bericht von JESSBERGER (1976), der Frostkriterien verschiedener Autoren vergleicht, sollte die nationale und internationale Literatur erfasst werden. Außerdem sollten einschlägige Vorschriften vergleichbarer Länder ausgewertet werden. Es war zu prüfen, ob es sinnvoll erscheint, die deutschen Regeln zu ändern, um dadurch Einspareffekte zu erzielen.

### 2. Ergebnisse und Erkenntnisse der Studie

#### 2.1 Gegenwärtige Vorschriften

Einführend wird die Komplexität der Frosteinwirkung auf Verkehrswege geschildert, die Vielzahl von Einflussfaktoren und

Wirkmechanismen beschrieben. Die meisten Einflüsse sind stochastischer Natur, Eintreten oder Ausbleiben von Frostschäden sind weitgehend zufallsbehaftet. Folgerichtig besteht das Wissen über Frosteinwirkung auf Straßen aus Theorie und Erfahrung, sind die einschlägigen Vorschriften eine Einheit von Berechnung und Empirie.

Ein dauerhafter Verkehrsweg muss drei Bedingungen erfüllen: er muss ausreichend auf Tragfähigkeit und Frost bemessen sein, qualitätsgerecht hergestellt werden und die verwendeten Baustoffe müssen dauerhaft widerstandsfähig sein.

Die Bemessung des frostsicheren Oberbaus erfolgt nach den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO). Das Vorgehen hat sich insgesamt bewährt, es existieren langjährige Erfahrungen bei seiner Anwendung. Die RStO lassen Freiräume bei der Bemessung, die von qualifizierten Fachleuten sinnvoll genutzt werden können.

Die Forderungen der ZTVE und ZTVT an die Bauausführung hinsichtlich Dichte und Tragfähigkeit sind logisch und erprobt.

Der Frostwiderstand der verwendeten Materialien wird durch verschiedene Frost-Tau-Wechselversuche nachgewiesen. Diese sind einander sehr ähnlich, aber nicht identisch. Frosthebungsversuche sind erwähnt und zugelassen, aber in den Randbedingungen und Grenzwerten nicht reglementiert.

#### 2.2 Literaturstudie

Die Zerstörung von Straßen durch Frost im Untergrund ist die Folge einer Eislinsenbildung. Diese kann zum einen in der Frost-

phase zu einer Hebung der Straße führen, zum anderen während der Tauphase eine Verminderung der Tragfähigkeit des Untergrundes infolge Wasseranreicherung hervorrufen. Eislinsen können entstehen, wenn nicht frostsicheres Untergrundmaterial, Wasser im Untergrund und Frost zusammentreffen.

Der Trend in der internationalen Frostforschung geht zu einer umfassenden Bewertung des Frostverhaltens im Bedingungsgefüge Untergrund-Wasser-Frost.

Die Frostempfindlichkeit eines Bodens beispielsweise kann nicht allein anhand seiner Korngrößenverteilung beurteilt werden. Die Korngrößenverteilung gibt zwar einen groben Anhalt für die Frostempfindlichkeit eines Bodens, erlaubt jedoch keine Klassifizierung, die eine differenzierte und damit ökonomische Bemessung zulässt.

Für eine treffsichere Beurteilung der Frostempfindlichkeit von Böden sind neben der Korngrößenverteilung weitere Eigenschaften des Bodens, wie z. B. die spezifische Oberfläche (RIEKE et al. 1983, 1987; NIEMINEN, 1989), die Porengrößenverteilung (LOVELL, 1983; NIEMINEN, 1989; KUJALA, 1993) und die Mineralogie (WAIBEL, 1975; BRANDL, 1977) zu berücksichtigen.

Das genaueste Verfahren zur Bestimmung der Frostempfindlichkeit von Böden stellt der Frosthebungsversuch dar, bei dem vorzugsweise eine Bodenprobe in einem Wasserbad platziert und von der Probenoberseite einem Kälteeinfluss ausgesetzt wird. In diesem Versuch wird nicht nur das Bodenmaterial für eine Identifikation der Frostempfindlichkeit untersucht, sondern komplex das Frostverhalten des Materials im Bedingungsgefüge Boden-Wasser-Frost. Bei der Durchführung und Bewertung solcher Frosthebungsversuche bestehen Differenzen zwischen den unterschiedlichen Autoren und Prüfinstituten.

Die Frostkriterien von Frosthebungsversuchen beziehen sich in den meisten Fällen auf eine Erfassung des Frosthebungsmaßes während des Gefrierens und des Tragfähigkeitsverlustes (CBR-Wert) nach dem Auftauen. Da beide Symptome zu Schäden an Straßen führen und nicht immer gemeinsam auftreten müssen, sind nach Meinung von BRANDL (1977) beide Kriterien zu bestimmen. Nach neueren Erkenntnissen ist auch die Bestimmung des Segregationspotenzials (segregation = Absonderung) ein geeignetes Frostkriterium. Das Segregationspotenzial wurde von KONRAD/MORGENSTERN (1980, 1981, 1982, 1983) definiert. Es quantifiziert die Neigung eines Bodens zur Eislinseneildung, dem Grund für Frosthebungen und/oder Tauerweichungen. Die Bestimmung des Segregationspotenzials verlangt die Messung der Wassereinströmgeschwindigkeit und des Temperaturgradienten über den "frozen fringe" ( $SP = v/\text{grad T}$ ). Der "frozen fringe" (Frostsaum) ist ein gefrorener Bereich unterhalb der Eislinseneildung und oberhalb der Nullisotherme, über den hinweg die Eislinsen mit Wasser versorgt werden. Große SP-Werte weisen auf einen frostempfindlichen Boden hin.

Eine Beurteilung der Frostempfindlichkeit anhand eines Frosthebungsversuches ("direktes" Verfahren) ist im Vergleich zu einer Einschätzung anhand von Bodeneigenschaften ("indirektes" Verfahren) sehr aufwändig. Aus diesem Grund wurden Korrelationen zwischen Ergebnissen der Frosthebungsversuche und einfach zu bestimmenden Bodeneigenschaften untersucht (VINSON/AHMAD/RIEKE, 1987; KUJALA, 1991, 1993). Da die Frostempfindlichkeit durch mehrere Faktoren beeinflusst wird, kann sie nicht allein anhand einer Bodeneigenschaft genau genug eingeschätzt werden. Aus diesem Grund wurden Frostkriterien, die mehrere Bodeneigenschaften umfassen, sowie integrierende Parameter (z.B. Fines-Faktor) entwickelt.

Das TC-8 des ISSMFE (1989) schlägt eine Beurteilung der Frostempfindlichkeit in drei Stufen mit steigender Aussagegenauigkeit vor:

- Stufe 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung,
- Stufe 2: Bestimmung von Indizeigenschaften (z. B. Plastizität, Kapillarität),
- Stufe 3: Durchführung von Frosthebungsversuchen.

Dadurch kann das Beurteilungsverfahren dem Boden und der erforderlichen Aussagegenauigkeit angepasst werden.

Zum Frostverhalten von Festgesteinen kann der Arbeit von MATSUOKA (1990) entnommen werden, dass Frost das Festgestein durch Volumenzunahme beim Gefrieren des bereits im Gestein vorhandenen und des von außerhalb zuwandernden Wassers zerstören kann. Als versuchstechnisch bestimmbare Indikatoren der Frostempfindlichkeit von Festgesteinen werden beispielsweise die Adsorptionsrate und der Sättigungsgrad verwendet. Frostkriterien, wie bei Lockergestein, existieren jedoch nicht. Bei Festgesteinen wird die Frostempfindlichkeit hauptsächlich anhand der Gesteinsart, die Aussagen zur Porosität und Festigkeit des Gesteins beinhaltet, eingeschätzt.

Über die Frostempfindlichkeit von Recyclingbaustoffen wird von TOUSSAINT (1997) und LEHNE (1979) berichtet. Sie empfehlen, die Bewertung der Frostbeständigkeit entsprechend den Einbaubedingungen der Tragschicht in situ, d.h. am gesamten Korngemisch für den durchfeuchteten und verdichteten Zustand vorzunehmen, anstatt gemäß den derzeitigen Prüfvorschriften an einzelnen Kornfraktionen die Absplittierungen infolge Frost-Tau-Einwirkung zu bestimmen. Bei der Untersuchung der Frostsicherheit von Lavaschlacke-Korngemischen stellte HOCK-BERGHAUS (1997) fest, dass der Grenzwert des Feinkornanteiles nach der ZTVT-StB 95 für diese Gemische keine Berechtigung besitzt, sondern höher angesetzt werden kann.

### 2.3 Frostverhalten von Boden-Kalk-Gemischen

Das Verhalten kalkbehandelter Böden unter Frosteinwirkung ist seit Jahrzehnten Gegenstand von Untersuchungen im Labor und im Feld.

KLENGEL sowie BRANDL haben in den sechziger und siebziger Jahren mit systematischen Laboruntersuchungen wesentliche Zusammenhänge aufgeklärt. Die Ergebnisse lassen sich in der Feststellung zusammenfassen, dass ein mit Kalk behandelter Boden dann dauerhaft tragfähig und frostsicher ist, wenn gewisse Randbedingungen bei der Herstellung eingehalten werden:

- stoffliche Bedingungen wie austauschbereite Tonminerale im Boden, geeignete Kalksorte, sinnvolle Dosierung, optimaler Wassergehalt,
- technologische Bedingungen wie intensiver Mischvorgang, umgehende und ausreichende Verdichtung, annähernd Feuchtraumbedingungen, Schutz vor strömendem Wasser und vor Austrocknung,
- meteorologische Bedingungen wie ausreichender zeitlicher Abstand zum ersten Frosteintritt.

Den entscheidenden Nachweis ihrer Eignung und ausreichender Güte erbringen Boden-Kalk-Gemische, wenn sie sich im Tragsystem eines realen Verkehrsweges bewähren und dauerhaft den Beanspruchungen aus Verkehr und Klima widerstehen. Das kann nur durch Beobachtung und Auswertung von ausgeführten Abschnitten nachgewiesen werden. Entsprechende Bauvorhaben sind sowohl an Straßen als auch an Eisenbahnstrecken in großer Zahl ausgeführt worden.

Im Streckennetz der ehemaligen Deutschen Reichsbahn wurden in den siebziger und achtziger Jahren Versuchsabschnitte systematisch und langfristig untersucht und ausgewertet. Die Ergebnisse sind ausnahmslos positiv. Die kalkbehandelte Planumszone wird bei Einhaltung der Gütekriterien eine frostsichere und dauerhafte Tragschicht mit erheblichen Tragreserven. Es konnten keinerlei Tragfähigkeitsverluste, Alterungen oder Frostschäden festgestellt werden, selbst nach Jahren sind noch Tendenzen zur Tragfähigkeitszunahme zu erkennen.

Im Straßenbau existieren ebenfalls zahlreiche Abschnitte, in denen der Untergrund mit Kalk behandelt wurde. Jedoch nur in

selteneren Fällen und eher zufällig wurde überwacht und ausgewertet (VOSTEEN, 1984; JUNKER, 1988; RITTER, 1990). Die Ergebnisse sind ebenfalls durchweg positiv. Es empfiehlt sich, kalkbehandelte Abschnitte unter Straßen mehr als bisher zielstrebig und systematisch zu untersuchen, damit Vertrauen und Sicherheit im Umgang mit diesem Bauverfahren gewonnen werden kann. Das betrifft besonders die Bodenverbesserung mit Kalk und deren Einbeziehung in den frostsicheren Oberbau. Es wird deshalb ein entsprechendes FE-Thema vorgeschlagen.

## 2.4 Ausländische Normen und Richtlinien

Die Straßenbaunormen in Österreich (RVS) ähneln in mancher Hinsicht den deutschen. Die Oberbaugestaltung wird nach Tabellen für 5 Lastklassen und 5 Bautypen gewählt (seit Oktober 1998 für 6 Lastklassen und 6 Bautypen). Es werden Mindestdicken der unteren Tragschicht vorgegeben, basierend auf einer Tragfähigkeit des Planums von  $E_{v12}$  35 MN/m<sup>2</sup>. Frostbeständige Bodenverfestigungen werden voll angerechnet. Eine örtliche Anpassung der Konstruktion wird gefordert, ist aber nicht reglementiert, da man weder Klimazonen noch Frostempfindlichkeitsklassen unterscheidet. Auch für die Berücksichtigung der Wasserverhältnisse und der genauen Trassenlage gibt es keine Richtwerte.

Forderungen an die Verdichtung sind als Mindestwerte für  $D_{Pr}$  bzw.  $E_{v2}/E_{v1}$  und  $E_{v1}$  formuliert.

Die eingebauten Korngemische müssen frostsicher sein. Das wird in drei Schritten überprüft:

- 1. Schritt – Kornkriterium:  
Wenn der Anteil < 0,063 mm weniger als 4 % beträgt, ist das Gemisch frostsicher. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, folgen weitere Schritte.
- 2. Schritt – Mineralkriterium:  
Vorab wird der Anteil < 0,02 mm durch Schlämmanalyse bestimmt. Wenn dieser Anteil < 3 % (oder < 5 % bei erprobten Materialien) beträgt, ist das Korngemisch frostsicher ohne Mineralbestimmung. Wenn der Anteil 3–8 % beträgt, dann ist die Art der Minerale zu bestimmen.  
Der zulässige Anteil an aktiven Mineralen (Kaolinit-, Glimmer-, Chlorit- und Montmorillonitgruppe) ist sehr differenziert vorgegeben; bei 8 % Anteil < 0,02 mm dürfen keinerlei aktive Minerale mehr vorhanden sein.

Wenn das Mineralkriterium nicht erfüllt ist, kann der Nachweis der Frostsicherheit über den

- 3. Schritt –  
Frosthebungsversuche am verdichteten Mineralgemisch erfolgen, wobei sowohl Hebung als auch Tragfähigkeitsverlust (CBR-Versuch) ermittelt werden. Ein Entwurf für die einheitliche Durchführung der Frostversuche liegt vor, er enthält aber noch keine Grenzwerte.

Nach den Normen der Schweiz wird der Straßenoberbau nach der Tragfähigkeit des Schichtsystems über einen so genannten "Strukturwert SN" für flexible Konstruktionen und nach einer Tabelle für starre Konstruktionen bzw. einem Typenkatalog (10 genormte Oberbautypen) bemessen.

Eingangswerte für die Entscheidung sind:

- 6 Verkehrslastklassen, T 1 (sehr leicht) bis T 6 (extrem schwer),
- 5 Tragfähigkeitsklassen des Untergrundes, S 0 (sehr geringe) bis S 4 (sehr hohe Tragfähigkeit), wobei nach Feldmessungen bzw. durch Schätzung zugeordnet wird,
- 4 (+1) Frostempfindlichkeitsklassen, G 1 (sehr leicht) bis G 4 (stark frostempfindlich), wobei im ersten Schritt nach der Klassifikation der Lockergesteine (Kornzusammensetzung und Plastizität in Anlehnung an das amerikanische USCS) zugeordnet wird, in Zweifelsfällen und bei organogenen Böden sind Frosthebungsversuche vorgesehen, die genau reglementiert sind,

- 2 hydrogeologische Bedingungen (günstig, wenn Grundwasser tiefer als 1,4 m unter Straßenoberfläche und unterhalb der Frosteintrittstiefe mit dreißigjähriger Eintretenswahrscheinlichkeit X30 ansteht).

Eine Dimensionierung auf Frost muss bei den Frostempfindlichkeitsklassen G 3 und G 4 vorgenommen werden. Aus einer meteorologischen Karte wird der Frostindex der Luft FI entnommen, der die drei kältesten Winter zwischen 1927 und 1957 berücksichtigt. Er wird um den Strahlungsindex RI auf den Frostindex der Straße verringert ( $FIS = FI - RI$ ). Jedem Oberbautyp wird ein kritischer Frostindex FIS\* zugeordnet, der zudem von der Tragfähigkeitsklasse S und der Verkehrslastklasse T abhängig ist. Wenn die Frostbelastung größer ist als der Frostwiderstand ( $FI_S > FI_S^*$ ) dann ist zusätzlich auf Frost zu dimensionieren. Aus der Frosteinwirkung FIS wird dabei über ein Diagramm die Frosttiefe  $X_{30}$  ermittelt. Die Konstruktionsdicke dS muss einen bestimmten Anteil f von  $X_{30}$  abdecken ( $d_S > f \times X_{30}$ ). Der Frostdimensionierungsfaktor f liegt zwischen  $f = 0,30-0,65$ , je nach Oberbautyp, Verkehrslastklasse T, Frostempfindlichkeitsklasse G und Frostindex  $FI_S$ .

Güteanforderungen an den Untergrund sind als Verdichtungsgrad (100 % bis 0,6 m Tiefe, darunter 97 %) und Tragfähigkeit ( $M_E$  215 MN/m<sup>2</sup>) formuliert.

In Frankreich wird der Oberbau einer Straße nach der "Verkehrsklasse" (T 0 = sehr hoch bis T 3 = gering) und der "Tragfähigkeitsklasse" (PF<sub>1</sub> = gering bis PF3 = sehr hoch) ausgewählt.

Es stehen 23 Oberbautypen zur Auswahl. Die Tragfähigkeitsklasse PF (plate forme) der Unterlage berücksichtigt sowohl Art und Zustand des anstehenden Bodens als "Bodenklasse" (S 0 = schlecht bis S 3 = sehr gut) als auch untere Tragschichten bzw. Frostschuttschichten. Verfestigungen des anstehenden Untergrundes gehen in diese Tragfähigkeitsklasse ein.

Die Frostsicherheit der Konstruktion wird sehr differenziert nachgewiesen. Aus der Verkehrsklasse T, der Tragfähigkeitsklasse PF, der aufnehmbaren Frostmenge des Untergrundes QB und dem Oberbautyp wird aus einem Nomogramm ein zulässiger Frostindex IA ermittelt. Er wird mit dem einwirkenden Frostindex IR verglichen, der aus einem Katalog meteorologischer Daten der Jahre 1951 bis 1985 entnommen werden kann (einmaliger oder drittstrengster Winter).

Die Frostempfindlichkeit der Böden wird in drei Klassen eingeteilt:  $SG_n$  = nicht (non),  $SG_p$  = mäßig (peu) und  $SG_t$  = sehr (tres) frostempfindlich. Die Zuordnung erfolgt entweder grob orientierend nach der Bodenklassifikation oder nach einem präzise genormten Hebungversuch. Maßgebend ist die Neigung der Hebungskurve in der Maßeinheit [mm/Wurzel aus 4°C x Stunde].

Für die Bemessung des Straßenoberbaus in den USA ist der im Laufe der Zeit eintretende Verlust an Gebrauchsfähigkeit die wesentliche Entwurfskomponente. Am Ende des geplanten Nutzungszeitraumes soll noch eine akzeptable Befahrbarkeit vorhanden sein, die Planungsunterlagen enthalten ein Befahrbarkeits-/Nutzungskonzept.

Die ursprüngliche Gebrauchsfähigkeit einer Straße verringert sich einerseits durch die Klima-Beanspruchung

- aus Quellen des Bodens um die Differenz  $PSI_{Swell}$  (abhängig von der Quellneigung des Bodens) und
- aus Frost um Differenz  $PSI_{FrostHeave}$  (abhängig von der Frosthebungsrate des Bodens entsprechend dem Anteil < 0,02 mm, Frosthebungswahrscheinlichkeit entsprechend Frosteinwirkung, hydrologischen Verhältnissen, Drainagewirkung u.a.).

Alle Zusammenhänge sind in Diagrammen dargestellt.

Andererseits verliert die Straße durch die Verkehrsbelastung an Gebrauchsfähigkeit. Dieser Gebrauchsfähigkeitsverlust Differenz  $PSI_{traffic}$  ist abhängig von der Oberbaukonstruktion, von der

Verkehrsbelastung, vom E-Modul der Unterlage bzw. der Betungsziffer, vom Drainagekoeffizienten. Außerdem gehen Parameter wie das gewünschte Zuverlässigkeitsniveau der Bemessung und die Streuung der Parameter in die Entscheidung ein. Auch dieser Schritt wird mit Nomogrammen problemlos vollzogen. Die Wahl der endgültigen Oberbaukonstruktion erfolgt iterativ. Die gewählte Oberbaukonstruktion muss den Verlust an Gebrauchsfähigkeit auf einen solchen Betrag beschränken, der die gewünschte Nutzungsdauer garantiert.

Es entsteht insgesamt der Eindruck völliger Bestimmtheit, die Probleme scheinen perfekt gelöst.

### 3. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Bei der Erarbeitung der Studie hat sich bei den Bearbeitern die Überzeugung gefestigt, dass das in Deutschland praktizierte System der Frostbemessung mit seiner Dialektik von Theorie und Empirie im Grundsatz beibehalten werden sollte. Die Qualität der Entscheidungen ist in besonders hohem Maße von der Qualifikation, der Sachkunde und dem Erfahrungsschatz der Bearbeiter abhängig. Deshalb gewinnen Erfassung und Austausch von praktischen Erfahrungen besondere Bedeutung.

Es werden folgende Maßnahmen bzw. Verbesserungen empfohlen:

- Durch eine Befragung sollte festgestellt werden, ob und in welchem Maße die Freiräume der RStO genutzt werden, wie die Zu- und Abschläge gehandhabt werden, vor allem in Grenz- und Übergangsbereichen, z. B. der Frostepfindlichkeit, der Wasserverhältnisse, der Frosteinwirkungszonen.
- Die Frostepfindlichkeit der Böden sollte weiterhin nach den drei Klassen F1 bis F3 entsprechend ZTVE-StB bewertet werden. Diese Einteilung ist sinnvoll und differenziert. Für gemischtkörnige Böden mit 5–15 % Feinkornanteil sollte neben der Ungleichförmigkeit zusätzlich der Mineralgehalt berücksichtigt werden.
- Frost-Tau-Wechsel-Versuche an gemischtkörnigen Böden mit Ermittlung der Tragfähigkeit nach Frost CBRF sollten unverändert bleiben. Frosthebungsversuche als aussagefähigste Art der Bewertung sollten in ihren Randbedingungen und Grenzwerten standardisiert werden, wozu FLOSS (1997) Vorschläge formuliert hat. Langfristig sind einheitliche europäische Lösungen anzustreben.
- Über den Einfluss organischer Beimengungen auf das Frostverhalten wurden keine neuen Erkenntnisse gefunden. Es gibt keinen Anlass, an der Zuordnung von organogenen Tonen (OT) und Böden mit humosen Beimengungen (OH) zu F2 bzw. organogenen Schluffen (OU) zu F3 etwas zu ändern. In Zweifelsfällen sind Frosthebungsversuche vorzunehmen.
- Ausgewählte Abschnitte, deren Untergrund mit Kalk behandelt worden ist und die langjährig der Belastung aus Verkehr und Klima ausgesetzt waren, sollten systematisch erfasst, untersucht und ausgewertet werden. Dazu wird ein Forschungsthema "Gebrauchsverhalten kalkbehandelter frostepfindlicher Böden im Planumbereich von Verkehrsflächen" vorgeschlagen. Dabei sind vor Allem kalkverbesserte Abschnitte zu analysieren. Es ist zu klären, ob und unter welchen Bedingungen eine Bodenverbesserung mit Kalk dem frostsicheren Oberbau zugerechnet werden kann.
- Es wird entsprechend einem Vorschlag des Arbeitsausschusses 5.1 "Frost" empfohlen, bei den hydrologischen Verhältnissen des Straßenuntergrundes drei Kategorien anstatt wie bisher nur "günstig" bzw. "ungünstig" zu unterscheiden. Dabei kann die Konsistenzzahl IC für die Zuordnung herangezogen werden.
- Die Frosteinwirkungszonen I bis III nach RStO als Orientierung für die Winterstrenge sollten beibehalten werden, zumal sie erst 1996 korrigiert wurden. Neben der Empfehlung, bei der Zuordnung langjährige und örtliche Erfahrungen zu berücksichtigen, sollte auf die drei Frosteinwirkungsgebiete der Deutschen Bahn AG (DS 836) hingewiesen werden, die ggf. bei der Entscheidung helfen können.
- Die langfristige Klimaentwicklung sollte unter dem Aspekt analysiert werden, ob und mit welcher Wahrscheinlichkeit ein so strenger Winter wie 1962/63 erneut auftreten kann.
- Die thermischen Eigenschaften der Baustoffe beeinflussen theoretisch die Frosteinwirkung. Da sie aber selbst Schwankungen unterworfen sind, z. B. entsprechend dem Wassergehalt, verspricht eine differenzierte Bewertung der Konstruktionen nach den thermischen Eigenschaften wenig praktischen Sinn und Nutzen.
- Das Frostverhalten von Festgestein wird als Bau- und Zuschlagstoff durch Frost-Tau-Wechsel nach TP Min StB, Teil 4.3.1 und als Untergrund durch die Wasseraufnahme nach DIN 52103 bzw. durch Frost-Tau-Wechsel nach DIN 52104, Teil 1, bewertet. Frostveränderlicher Felsuntergrund wird bei der Bemessung wie sein Verwitterungsprodukt behandelt. Das Literaturstudium lässt keinen Anlass erkennen, von dieser Praxis abzuweichen.
- Es ist eine ergänzende Bearbeitung der "Technischen Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe in Tragschichten ohne Bindemittel" (TL RC-ToB 95) und des "Merkblattes über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil: Wiederverwendung von Baustoffen – 1985" anzustreben, da inzwischen die praktischen Erfahrungen weit fortgeschritten sind. Die Frostepfindlichkeit der RC-Materialien ist nicht so kritisch zu sehen, wie landläufig angenommen wird. Zu bewerten ist sie am Zuverlässigsten durch Frosthebungsversuche am gesamten Korngemisch, weniger durch Frost-Tau-Wechsel mit ausgewählten Kornfraktionen. □