

Aktualisierung der Frostzonenkarte zur Dimensionierung des frostsicheren Straßenoberbaus

Ursula Blume und Thomas Plehm

Die Einwirkung von Frost verursacht durch unterschiedliche Prozesse während des Gefrier- und des Tauprozesses Schäden an Straßen. Durch eine entsprechende Dimensionierung des frostsicheren Straßenoberbaus werden solche Schäden verhindert und die Wirtschaftlichkeit im Straßenbau und in der Straßenunterhaltung wird gesteigert. In den „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen“ (RStO) werden unterschiedliche Faktoren durch Frosteinwirkung auf den Straßenoberbau berücksichtigt. Durch die Frostzonenkarte werden in der Bundesrepublik Deutschland drei Frosteinwirkungsgebiete voneinander unterschieden. Entsprechende Erhöhungen der Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus berücksichtigen die diesen Frostzonen zugeordneten Frosteindringtiefen. Die seit der Ausgabe von 1986 in den RStO dargestellte Frostzonenkarte wurde auf Grundlage der Frosteinwirkung des Extremwinters 1962/63 entwickelt. Frostschäden an Straßen, die gemäß den Festlegungen der RStO dimensioniert wurden, sind nicht bekannt. Da jedoch möglicherweise die Dicke des frostsicheren Oberbaus überschätzt wird und die Darstellung der Frostzonenkarte nicht mehr dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht, wurde sie im Rahmen eines Forschungsvorhabens überarbeitet und detaillierter dargestellt. Diese neue Frostzonenkarte wird in den überarbeiteten RStO, deren Ausgabe im Jahr 2010 vorgesehen ist, berücksichtigt.

The impact of frost causes damages on roads due to different processes during freezing and thawing. By adequate dimensioning of frost resistant pavement structure, damages are prevented and economic efficiency of road construction and maintenance is improved. In the "guidelines for standardization of pavement construction for traffic areas" (RStO) various factors with regard to frost impact in pavement construction are considered. The map of frost zones of the Federal Republic of Germany differentiates three regions. By increasing the thickness of the frost resistant pavement structure it is possible to take account of the differences in frost intrusion depths according to these frost zones. The basis of the map of frost zones shown in the RStO since 1986 is the frost impact of the winter 1962/63. Roads dimensioned according to the suggestions of RStO do not show any frost damages. However, because the thickness of frost resistant pavement structures may be overestimated and the presentation of the map of frost zones does not represent the current state of the scientific and technical knowledge, it was revised within a research project and illustrated more detailed. The new map of frost zones is included in the revised RStO, of which the release is scheduled for 2010.

Verfasseranschriften:
Dipl.-Geol. U. Blume,
Bundesanstalt für
Straßenwesen,
Brüderstraße 53,
51427 Bergisch Gladbach,
blumeu@bast.de;
Dipl.-Ing. T. Plehm,
Landesbetrieb Straßenwe-
sen Brandenburg,
Lindenallee 51,
15366 Hoppegarten,
thomas.plehm@ls.
brandenburg.de

1 Entstehung von Frostschäden

Frostschäden an Straßen entstehen, wenn während der Gefrierphase Hebungen in einer Größenordnung entstehen, die den Straßenaufbau schädigen oder wenn während der Tauphase Setzungen und ein Verlust der Tragfähigkeit auftreten. Generell sind also Gefrier- von Tauschäden zu unterscheiden, da sie sich in der Wirkungsweise und damit auch in ihren Auswirkungen grundlegend voneinander unterscheiden.

Gefrierschäden entstehen zum einen dadurch, dass im Boden vorhandenes Porenwasser beim Gefriervorgang eine Volumenzunahme um 9 % erfährt. Wenn keine

Räume zur Volumenausdehnung vorhanden sind, können Frosthebungen auftreten. In Fels sowie in gebundenen und ungebundenen Mineralstoffen kann die Volumenzunahme auch eine Sprengwirkung haben, wenn der Kristallisationsdruck die Festigkeit der mineralischen Bindungen übertrifft.

Größeren Anteil an den Gefrierschäden hat jedoch die Eislinsenbildung im Unterbau bzw. Untergrund, die zu ungleichmäßigen Hebungen der Straße führen kann. Bei einseitiger Frosteindringung, in der Straße i. d. R. von oben, wird eine Wasserwanderung an die Gefrierzone und dort ein Wachsen von Eisschichten oder Eislinsen bewirkt. Verursacht wird dieser Vor-

gang durch Wasserdampfdruckdifferenzen an der Grenzfläche von Wasser zu Eis, durch die Zugspannungen im Porenwasser entstehen [2 bis 4]. Die Zugspannungen wachsen mit abnehmendem Porendurchmesser und abnehmenden Krümmungsradien der Grenzflächen zwischen Wasser und Eis. Außerdem nehmen die Zugspannungen mit zunehmender Unterkühlung an der Grenzfläche zu. Wenn bei dauerhaftem starkem Frost die zunehmende Unterkühlung nicht mehr durch die Wärmeabgabe des aufsteigenden Wassers beim Phasenwechsel von Wasser zu Eis ausgeglichen werden kann, dringt die Gefrierzone meist sprunghaft in eine tiefere Lage vor. Die gebildete Eismenge in einer

Bodenschicht ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Wassergehalt des Bodens und Länge des Porenwasserweges zum Grund- oder Schichtenwasser,
- Korngröße des Bodens, insbesondere des feinkörnigen Anteils,
- Durchlässigkeit des Bodens,
- Dauer der Frosteinwirkung und Strenge der Frostperiode.

Ungleichmäßige Hebungen treten besonders durch unterschiedliche Frosteinwirkung in Straßenmitte und im frostempfindlichen Boden am Rand der Straße auf. Die geringere Wärmeleitfähigkeit des meist bewachsenen humosen Bodens, der seitlich an den Straßenoberbau grenzt, oder die wärmeisolierende Wirkung einer seitlichen Schneeaufgabe bedingen eine geringere Frosteinwirkung in den Randbereichen der Straße. Problematisch sind auch ein stark unterschiedlicher Oberbau oder unterschiedliche Wasserverhältnisse im Planumbereich.

Die Eisanreicherungen in der Gefrierzone bewirken beim Auftauen eine Auflockerung und Konsistenzänderung des frostempfindlichen Bodens. Beim Auftauvorgang verhindert der tiefere, noch gefrorene Boden das ungehinderte Abfließen des beim Tauen der Eislinsen frei werdenden Wassers. Die Tragfähigkeit des tauenden Bodens, der zeitweise eine breiige bis flüssige Konsistenz annehmen kann, wird extrem verringert.

Für die Entstehung von Frostschäden müssen also die folgenden Voraussetzungen gegeben sein:

- Es treten negative Temperaturen von hinreichender Größe und Dauer auf.
- Der im Gefrierbereich der Straßenbefestigung anstehende Boden ist frostempfindlich.
- Wasser kann bis zur Gefriergrenze gelangen.
- Die Straße wird während der Tauphase durch Verkehr belastet.
- Der Oberbau weist ungenügende Tragereigenschaften auf.

Frostschäden treten in der Regel nur dann auf, wenn alle Voraussetzungen wirksam sind. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass sich Frostschutzmaßnahmen gegen einen der genannten Faktoren richten müssen, um Schäden während der Frost- und -tauperioden zu verhindern. In der Praxis wird durch konstruktive Maßnahmen bei der Planung und Bauausführung mehreren Ursachen entgegengewirkt.

2 Entwicklung der Frostzonenkarte

In den 1930er Jahren begann eine rege Untersuchung der Frostempfindlichkeit von Böden mit dem Ziel, ein Kriterium für die Beurteilung der Frostempfindlichkeit festzulegen, um Frostschäden an Straßen zu verhindern. Die Forschungen berücksichtigten eine Vielzahl von Aspekten und führten zu detaillierten Kenntnissen über den Ablauf der Gefrierprozesse im Boden. Im „Bericht über die Frostschäden des Winters 1939/40“ [5] werden die Frostschäden des Extremwinters 1939/40 dargestellt und analysiert. Die Zusammenführung der aufgetretenen Schäden mit den theoretischen Erkenntnissen führt zu Vorschlägen für Maßnahmen zur Verhinderung von Frostschäden, die bis heute gelten. Es wird auf die Bedeutung von Entwässerungsmaßnahmen und den Einbau ausreichend mächtigen frostsicheren Bodens, d. h. Frostschutzschichten hingewiesen. Zur Mächtigkeit dieser Frostschutzschichten wird die Verkehrsbedeutung der Straßen berücksichtigt und eine Dicke der Frostschutzschicht zwischen 40 bis 60 cm bei Landstraßen und 60 bis 80 cm bei Autobahnen vorgeschlagen. Aus wirtschaftlichen und baupraktischen Gesichtspunkten wird der frostsichere Ausbau der maximalen Frosteinwirkungstiefe nicht für erforderlich gehalten. Auf die Berücksichtigung regionaler Unterschiede und Erfahrung wird hingewiesen, ohne dass diese näher spezifiziert werden. Prinzipiell entspricht diese Betrachtungsweise exakt der heutigen Vorgehensweise gemäß den RStO [1].

Seit ihrer Gründung im Jahr 1955 beschäftigt sich die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), vormals Bundesanstalt für Straßenbau, intensiv und mit großem technischem Aufwand mit der Erforschung von Temperatureinflüssen für den Bau von frostsicheren Straßen. Von Kübler [6] wurde für nicht frostsicher ausgebaute Straßen ein Kriterium für die Frostgefährdung beim Auftauen aufgestellt, das die Stärke und Dauer einer Frostperiode berücksichtigt. In der Tauphase zu erwartenden Frostschäden lassen eine Prognose bezüglich ihres Umfangs und ihrer Schwere bereits während der Frostperiode durch die Betrachtung ihrer Stärke und Dauer zu. In Übereinstimmung mit den theoretischen Ansätzen zur Eislinsenebildung konnte Kübler mit dem von ihm entwickelten Kriterium nachweisen, dass strenge Frostperioden weniger Frostschäden verursachen als mittelstrenge Frost-

perioden. Grund hierfür ist ein sehr schnelles Eindringen des Frostes, sodass im oberen Bereich des frostempfindlichen Bodens keine Zeit für eine nennenswerte Eisanreicherung durch zur Gefrierzone aufsteigendes Wasser bleibt. Umgekehrt verursachen langsam eindringende, langandauernde Fröste starke Eisanreicherungen und damit große Hebungen.

Weitere Folgerungen der umfangreichen Untersuchungen Küblers sind die Feststellungen, dass „... die Frostsicherung nicht auf die volle Frosteinwirkungstiefe vorgenommen werden muss, sondern nur soweit, dass der frostempfindliche Boden auch im aufgeweichten Zustand für die ihn in dieser Tiefe noch beanspruchenden Drücke tragfähig ist und dass ungleichmäßige Frosthebungen durch die Frostschutzschicht weitgehend ausgeglichen werden.“ Aus den Feststellungen seiner Forschungsarbeit folgert er weiterhin, „...“, dass die Tiefe der Frostsicherung in den verschiedenen Klimagebieten gleich sein muss. Sie braucht in höheren Lagen infolge der dort meist herrschenden strengen Fröste mit schneller Frosteinwirkung nicht vergrößert zu werden. Sie darf aber in milderer Gegenden auch nicht verringert werden, da sonst bei der dort langsamen Frosteinwirkung unmittelbar unter der dünnen Frostschutzschicht gefährlich hohe Wasseranreicherung eintreten kann.“ Praktisch bedeutet dies, dass eine ausreichend mächtige Frostschutzschicht mit genügender Tragfähigkeit, die unabhängig von den auftretenden klimatischen Besonderheiten überall gleich mächtig ist, die Entstehung von Frostschäden verhindert. Diese Feststellung wurde durch anschließende Forschungsarbeiten modifiziert. Unter der Leitung von Behr wurden die Forschungsarbeiten über die physikalischen Vorgänge beim Gefrieren feuchter Böden, der Entstehung von Frostschäden und der Entwicklung neuer Bauweisen und Baustoffe bei der BASt weitergeführt. Dazu wurden Erprobungsstrecken und eine Großversuchsanlage eingerichtet und beobachtet und verbesserte, computergestützte Verfahren zur Berechnung der Frosteinwirkung entwickelt. Die wesentlichen Ergebnisse dieser jahrzehntelangen umfangreichen Forschungsarbeiten wurden in der Reihe „Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen“ unter dem Titel „Entstehung und Verhütung von Frostschäden an Straßen“ [2] von der FGSV herausgegeben.

Die maximale Frosteinwirkungstiefe wurde in den Jahren 1957 bis 1971 durch

Messungen an verschiedenen schneefrei gehaltenen Stellen bestimmt und statistisch ausgewertet. Um flächendeckende allgemeingültige Aussagen zur Frosteintritttiefe durch Berücksichtigung von Klimadaten zu treffen, wurde der Zusammenhang zwischen der Strenge einer Kälteperiode und der Frosteintritttiefe untersucht. Eine Kälteperiode ist der Zeitraum, der aus mehreren aufeinander folgenden Frostperioden mit mittleren Tagestemperaturen unter 0 °C besteht, wenn in den Tagen zwischen den einzelnen Frostperioden kein durchgreifendes Auftauen stattfindet.

Als Maß zur Beurteilung der Strenge einer Kälteperiode wird der Frostindex (FI) genutzt. Der Frostindex wird als das Produkt aus der täglichen mittleren Lufttemperatur und der Zeitdauer der Einwirkung definiert und hat die Einheit Gradtage [°C · d]. Der FI wird als positive Größe angegeben. Untersuchungen der Frostindizes des Extremwinters 1962/63 von ca. 80 deutschen Wetterstationen zeigen einen eindeutigen linearen Zusammenhang zwischen Höhenlage und Frostindex. Auf der kartographischen Darstellung lassen sich aber auch deutlich die Einflüsse der Nord- und Ostsee und der Flussniederungen erkennen.

Auf Grundlage der Frostindizes des Extremwinters 1962/63, nachfolgend FI_{max} genannt, wurden komplexe computergestützte Berechnungen der Frosteintritttiefe in das Mehrschichtensystem „Straße“ durchgeführt. Berücksichtigt wurden Einflussparameter wie Oberflächentemperatur, Schichtdicken, Wassergehalt und thermophysikalische Stoffeigenschaften. Verifiziert wurden die Rechenergebnisse anhand von Vergleichen mit anderen Näherungsverfahren und von Frostversuchen in der Großversuchsanlage der BASt. Die Rechenergebnisse zeigten einen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem FI_{max} und der Frosteintritttiefe, sodass aus gleichmäßig abgestuften Frosteintrittstiefen Stufen des FI_{max} definiert werden konnten, denen Flächenbereiche zugeordnet wurden. Es wurden drei Gebiete unterschieden:

- Zone I ($FI_{max} \leq 490 \text{ °C} \cdot \text{d}$) mit einer Frosteintritttiefe von weniger als 100 cm, die durch häufige Frost-Tau-Wechsel gekennzeichnet ist;
- Zone II ($FI_{max} > 490 \text{ bis } \leq 580 \text{ °C} \cdot \text{d}$) mit mittelstrenger Frosteinwirkung, bei der um 5 cm tiefere Frosteintrittstiefen als in Zone I zu erwarten sind.
- Zone III ($FI_{max} > 580 \text{ bis } \leq 675 \text{ °C} \cdot \text{d}$) mit langen und strengen Kälteperioden

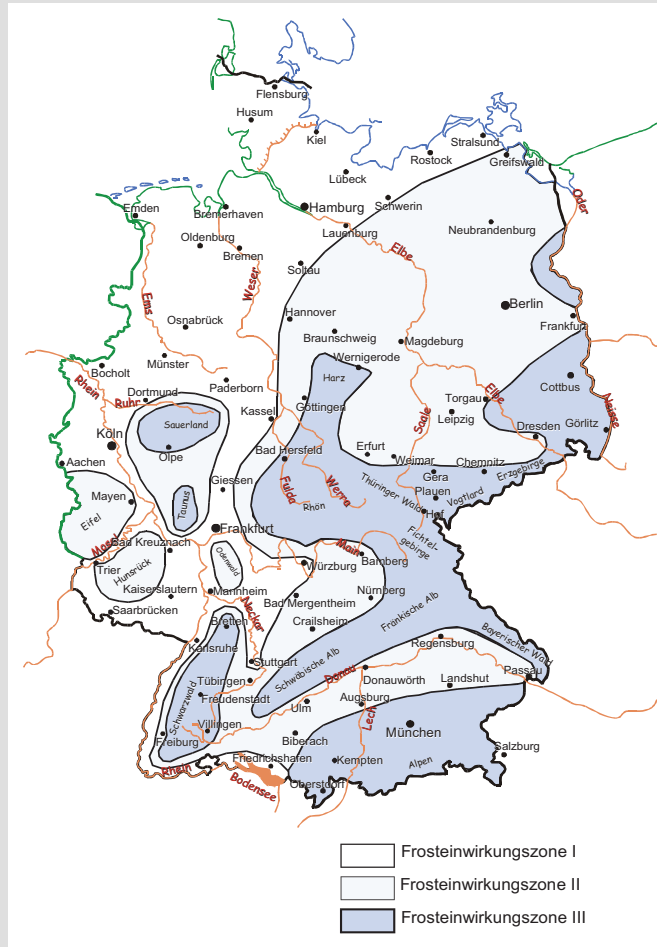


Bild 1: Modifizierte erweiterte Karte der Frosteinwirkungszone in der Bundesrepublik Deutschland (RStO 01)

und Frosteintrittstiefen, die um 10 bis 15 cm tiefer als in Zone I sind.

Von der Betrachtung ausgenommen wurden Hochlagen mit extremen Frostperioden mit einem FI_{max} von mehr als 675 °C · d. Ergebnis dieser Berechnungen war die kartographische Darstellung der „Frosteinwirkungsgebiete in der Bundesrepublik Deutschland nach Frostindizes FI des Winters 1962/63“, die erstmals in den RStO 86 als Bemessungsgrundlage Eingang fand. Nach der Wiedervereinigung wurde diese Karte auf die neuen Bundesländer erweitert. Da nur eine begrenzte Anzahl von Wetterstationen vorhanden war, auf deren Datenbasis der Frostindex des Winters 1962/63 berechnet werden konnte, war diese Karte relativ ungenau und wurde im Jahr 1996 modifiziert. In den RStO 01 ist diese modifizierte Frostzonenkarte abgebildet (Bild 1).

3 Berücksichtigung der Frosteinwirkungszone in den RStO

Zur Bestimmung der Mindestdicke des frostsicheren Straßenoberbaus werden in den RStO Richtwerte angegeben, die die Frosteintrittstiefe des anstehenden Bodens und die Verkehrsbelastung berücksichtigen (Tabelle 1). Der in [2] vorgestellte Ansatz zur Bestimmung der Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus basiert auf der Erfahrung, dass eine Teilfrostsicherung ausreicht, um Frostschäden zu vermeiden. Als ausreichende Dicke des frostsicheren Oberbaus oberhalb eines gering bis mittel frostempfindlichen Bodens wird empfohlen, den Straßenaufbau bis ca. 60% der bekannten maximalen Frosteintrittstiefe frostsicher auszuführen.

Es konnte eine Abhängigkeit der Frosteintrittstiefe vom Frostindex nachgewiesen

Frostempfindlichkeitsklasse	Dicke bei Bauklasse ... in cm		
	SV	I bis IV	V und VI
F2	60	50	40
F3	70	60	50

Tabelle 1: Richtwerte der Dicke des frostsicheren Straßenaufbaus (RStO 86)

werden, der für mittelstrenge Frostperioden mit der folgenden Faustformel (1) errechnet werden kann:

$$z_F = 15,6 (FI)^{0,3} \text{ [cm]} \quad (1)$$

Dieser Zusammenhang bildete die Grundlage für die Festlegungen des Ausgangswertes der Dicke von 50 cm für den frostsicheren Oberbau in den RStO 86 für Befestigungen in den Bauklassen I bis IV in der Frostzone I bei F2-Boden [3].

Die in der Tabelle 1 aufgeführten Richtwerte (RStO 86) dienen als Eingangswerte, die in Abhängigkeit von weiteren Randbedingungen exakter festgelegt werden müssen. Dazu müssen die folgenden Parameter berücksichtigt werden:

- klimatische Verhältnisse: unterschieden werden die großklimatischen Unterschiede und kleinräumige Klimaunterschiede;
- die Lage der Gradienten im Gelände;
- Wassereinfluss durch die Wasserverhältnisse im Untergrund, d. h. die Lage des Grundwasserspiegels in Bezug zum Planum;
- die hydrologischen Gegebenheiten der Randbereiche der Straße (Entwässerung) durch eventuell seitlich oder durch die Befestigung zufließendes Wasser.

Diese Einflüsse werden durch die Berücksichtigung von Mehr- oder Minderdicken auf die Richtwerte berücksichtigt. Die großklimatischen Unterschiede, d. h. die regionale Frostverteilung, wird durch Mehrdicken für die Frostzonen II und III berücksichtigt. Die höhere Frostbeanspruchung durch die höhere Eindringtiefe des Frostes wird in Frostzone II mit einer Zugabe von + 5 cm, in Frostzone III mit einer Zugabe von + 15 cm berücksichtigt.

4 Aktualisierung der Frostzonenkarte

Da die Klimadaten nur auf einer begrenzten Anzahl von Wetterstationen basieren, kann die Frostzonenkarte der RStO 01 nur einen groben Anhalt ohne weitere Berücksichtigung spezifischer Klimaeinflüsse liefern. Im Einzelfall müssen von den Straßenplanern daher langjährige Erfahrungen und örtliche Kenntnisse in die Dimensionierung einbezogen werden, die häufig fehlen. In einigen Bundesländern wurden daher eigene Frostzonenkarten erstellt [7, 8]. Vorteile dieser regionalen Frostzonenkarten sind die Objektivierung der Bemessung durch eine Verringerung des Ermessensspielraumes sowie eine Optimierung

durch die präzisere Auswertung der Klimadaten. Die Beispiele zeigen, dass eine Aktualisierung der Frostzonenkarte möglich und erforderlich ist. Anstelle des bisherigen Bezugs auf den Extremwinter 1962/63 sollte ein Frostindex mit einer statistischen Wiederkehrzeit von 30 Jahren (FI_{30}) betrachtet und hierzu eine möglichst große Anzahl von Wetterdaten repräsentativer Wetterstationen ausgewertet werden. Diese Festlegungen wurden in der Forschungsarbeit mit dem Titel „Aktualisierung der Frostdimensionierung im Straßenbau“ durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) realisiert und das Ergebnis der Untersuchungen in einem Forschungsbericht [9] veröffentlicht.

Vom DWD wurden für die Untersuchungen 221 Wetterstationen einbezogen, für die von 1955/56 bis 2004/05 auswertbare Ergebnisse vorlagen.

Mit Hilfe der Messwerte aus den Wetterstationen und in Abhängigkeit der Höhe über dem Meeresspiegel, der geographischen Lage, der Meeresnähe und der Landnutzung durch Bebauung wurden Regressionsgleichungen aufgestellt, mit denen der Frostindex zwischen den meteorologischen Stationen für ein 1-km-Raster ermittelt werden konnte.

Das Bild 2 zeigt die Frostzonenkarte für den maximalen über den Betrachtungszeitraum aufgetretenen Frostindex. Da dies an allen Messstationen der Winter 1962/1963 war, entspricht die Vorgehensweise prinzipiell der, die für die Karte der RStO 01 angewendet wurde.

Zu erkennen ist eine feinere Struktur, aber auch weniger ausgedehnte Flächen in Frostzone III, vor allem in Süddeutschland. Die exaktere Kartendarstellung wurde durch die elektronische Datenverarbeitung möglich. Inhaltlich bleiben bei dieser Auswertung aber zwei Nachteile erhalten:

- Es wird das Extremereignis (Winter 1962/1963, Wiederkehrwahrscheinlichkeit > 100 Jahre) mit ganz spezifischen Wetterlagen und Luftbewegungen zur Basis für die Bemessung in allen Regionen gemacht.
- Die Definition für die Unterbrechungszeiten, d. h. der Intervalle mit positiven Tagesmitteltemperaturen, bei denen Frostperioden nicht mehr zu Kälteperioden zusammengefasst werden, ist eine Festlegung, die die Auswertungsergebnisse deutlich beeinflussen. Durch einen einzigen frostfreien Tag mehr werden schnell ganze Regionen deutlich wärmer beurteilt.

Die beim Wetterdienst vorliegenden Daten und die Möglichkeiten der Datenaufbereitung erlaubten es aber jetzt, die Kartenerstellung auf eine statistische Basis zu stellen.

Als vertretbares Wiederkehrisiko wurden 30 Jahre festgelegt, für die der zu ermittelnde Frostindex und die damit im Zusammenhang stehende Frosteindringtiefe nicht überschritten werden sollte (siehe auch [7]). Die Auswertung einer 30-jährigen Wiederkehrwahrscheinlichkeit auf der Basis von 50 ausgewerteten Jahren hat folgende Vorteile:

- Die winterlichen Temperaturverteilungen werden typischer dargestellt, als dies bei alleiniger Betrachtung nur eines Winters der Fall wäre.
- Der Einfluss der Definition einer zulässigen Unterbrechungszeit zwischen zwei Frostperioden verliert seinen Einfluss auf die Abgrenzung der Frostzonen.

Es wurden Kälteperioden berücksichtigt, bei denen zwei Frostperioden durch maximal 2 Tage mit Tagesmitteltemperaturen von über 0 °C unterbrochen wurden.

Vom DWD wurde überprüft, welche statistische Verteilung am besten für die Abbildung des Frostindex geeignet ist. Dabei wurde festgestellt, dass zumeist die Weibull-Verteilung und nicht die Gumbel-Verteilung die besseren Ergebnisse zwischen Messung und Berechnung ergibt.

5 Kartendarstellung

Vom DWD wurden die Karten zunächst jeweils mit und ohne Bebauungseinfluss erstellt. Im Zuge der Fortführung der Auswertung wurde entschieden, die Bebauung grundsätzlich nicht in die Karten einzurechnen, sondern den Bebauungseinfluss bei der Dimensionierung der konkreten Straßenbaumaßnahmen mit Abschlägen auf die Dicke des notwendigen frostsicheren Oberbaus zu berücksichtigen.

Im Ergebnis des Forschungsberichtes des DWD entstand die Karte im Bild 3.

Die Klasseneinteilung wurde dabei vom DWD zunächst willkürlich gewählt. Die Festlegung der Klassenbreiten folgte statistischen Gesichtspunkten und ist größer als der zweifache Betrag der Streuung.

Die Karte der 30-jährigen Wiederkehrzeiten des max. Frostindex (FI_{30}) zeigt einen für deutsche Winter typischen West-Ost-Anstieg der Frostgefährdung. In den Mittelgebirgen von West-Südwest- und

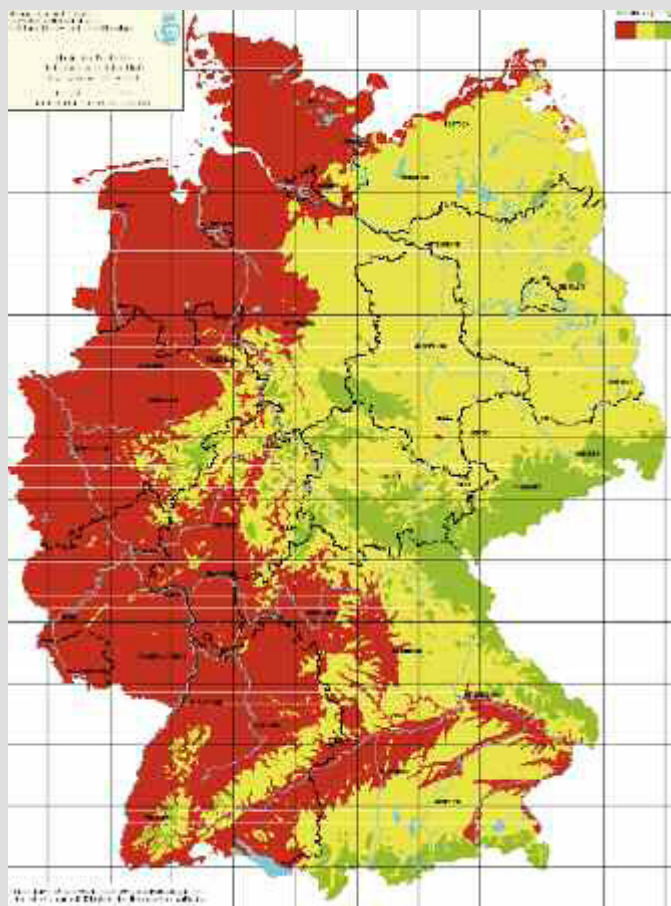


Bild 2: Maximaler Frostindex ohne Berücksichtigung der Bebauung

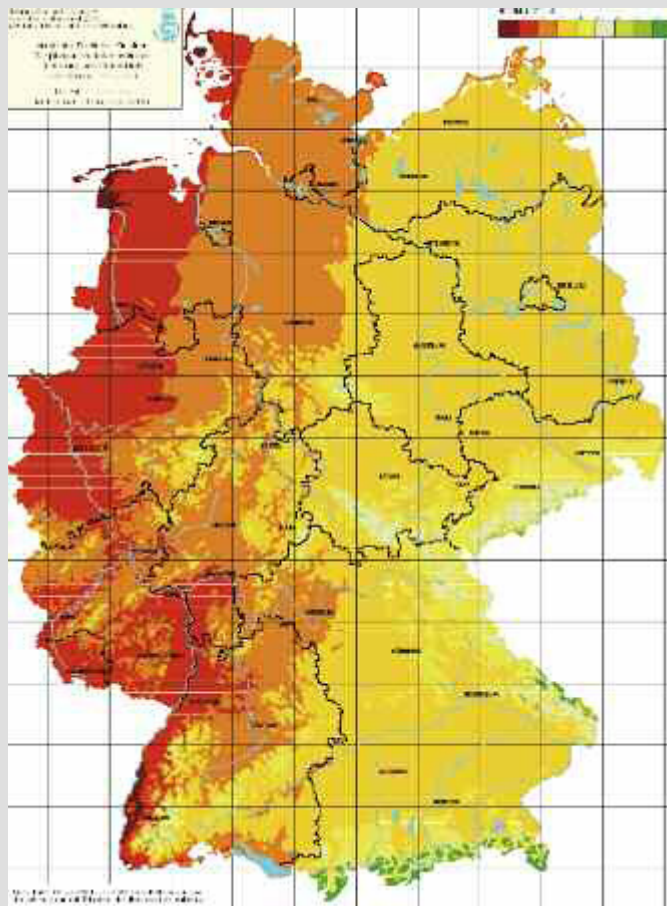


Bild 3: Maximaler Frostindex für einen 30-jährigen Wiederkehrzeitraum ohne Berücksichtigung der Bebauung

Süddeutschland und im Alpenraum wird diese Verteilung infolge der Höhenabhängigkeit regional unterbrochen. Insgesamt zeigte die Karte ein sehr detailliertes und plausibles Bild der regionalen Verteilung des Frostindex und konnte als Basis für weitere Überlegungen dienen.

Auf Basis dieser Darstellung mussten nun die FI_{30} -Werte für die Begrenzung der drei Frostzonen festgelegt werden. Dabei war zu beachten, dass sich die regionale Verteilung der Frostzonen im Wesentlichen bewährt hat und daher nicht grundlegend verändert werden sollte. Die Verteilung der Frostzonen in der neuen Frostzonenkarte sollte daher nicht wesentlich von der alten abweichen, die Gebiete jedoch detaillierter darstellen.

6 Dimensionierungsansatz zur Festlegung der Grenzen des FI_{30}

Wie oben dargelegt, basiert die Berechnung des frostsicheren Oberbaus gemäß den RStO auf der Erfahrung, dass eine Mächtigkeit von 60 % der maximalen Frosteindringung zur Verhinderung von

Frostschäden ausreicht. Entscheidend für den frostsicheren Aufbau von Straßen ist neben dem Ertragen einer maximalen Frosteindringung auch die Tiefenlage der letzten gefrorenen Schicht beim Auftauvorgang. Da der Auftauprozess gleichzeitig von oben nach unten und von unten nach oben erfolgt, kann bei ungünstiger Konstellation eine unterhalb des Planums befindliche gefrorene Bodenschicht eine Entwässerung des oberen Teiles von Un-

tergrund oder Unterbau nach unten hin unmöglich machen.

Der mit Wasser angereicherte, aufgetaute frostempfindliche Boden verringert seinen unter normalen Entwässerungsbedingungen vorhandenen Verformungsmodul. Die Folge ist ein starkes Absinken der Tragfähigkeit des Planums. Die Beanspruchung aus Verkehr führt dann zu Schäden an den Konstruktionsschichten, da die zulässigen Verformungen überschritten werden.

Dem **Schlagloch** keine Chance!

BMS-ALLWETTER
KALTASPHALT ORIGINAL COMPOMAC®



BESCHILDERUNGS- UND MARKIERUNGS-SERVICE GMBH FREIBURG
Telefon 0761-515170
Telefax 0761-5151755
info@bms-freiburg.de
www.bms-freiburg.de



Frei von Teerbestandteilen, Teerölen und Fluxmitteln!

Anwendung:
Herstellung von Anrampungen. Beseitigen von Fahrbahnschäden im Rahmen der vorbeugenden Straßenerhaltung. Verfüllen von Schlaglöchern, breiten Rissen und Frostaufbrüchen.

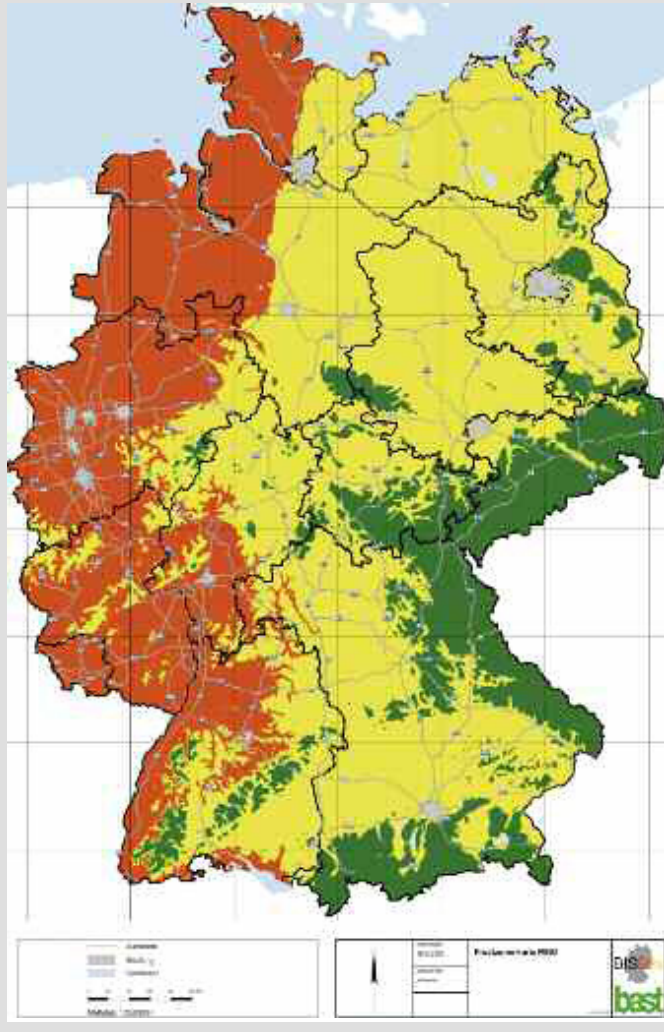
Im 25 Kg-Sack oder lose (lastzugweise) erhältlich

Kann bei jedem Wetter verarbeitet werden.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Ausgangswerte für die Dicke des frostsicheren Oberbaus nach RStO zur rechnerischen Ermittlung der Frosteindringung

Frostzone	neue Grenzwerte der Frostzonen [°C · d]	Berechnung nach Heft 105 für F2-Böden [cm]		Richtwerte für Dicke des frostsicheren Oberbaus nach RStO 01 (Bauklassen III / IV) [cm]	
		z_F	60% z_F	F2-Boden	F3-Boden
I	≤ 250	82	49	50	60
II	> 250 – ≤ 330	89	53	55	65
III	> 330 – ≤ 580	105	63	65	75

Bild 4: Aktualisierte Frostzonenkarte für die neuen RStO



Daher ist es notwendig, die Dicke des Straßenaufbaus so zu dimensionieren, dass sich der letzte verbleibende gefrorene Bereich im Straßenkörper beim Auftauen in der Frostschutzschicht befindet, denn dort führt ein erhöhter Wassergehalt zu keinen schädlichen Veränderungen des Verformungsmoduls und vorhandene Entwässerungseinrichtungen bleiben wirksam. Da die Simulation des Auftauprozesses noch komplexer als die des Gefrierprozesses ist, soll es zunächst bis auf weiteres bei der 60 %-Regel bleiben. Es wird davon ausgegangen, dass sich damit die letzte verbleibende gefrorene Schicht oberhalb

eines frostempfindlichen Untergrundes oder Unterbaus befindet.

Unter Anwendung von Formel (1) lässt sich für die Frostzone I mit einem Dimensionierungswert von 250 °C · d eine Frosteindringtiefe z_F von 82 cm ermitteln. Entsprechende Berechnungen für die Frostzonen II und III resultieren in maximalen Frosteindringungen z_F von 89 cm bzw. 105 cm für Frostindexe von 330 °C · d resp. 580 °C · d. Eine Berücksichtigung von 60 % dieser maximalen Frosteindringtiefen ergibt Werte von 49 cm, 53 cm und 63 cm, die jeweils knapp unterhalb der festgelegten Ausgangswerte für die Dicke des frost-

sicheren Oberbaus für die Bauklassen III/IV gemäß RStO 01 liegen (Tabelle 2). Hochlagen mit $FI_{30} > 580$ °C · d (im Bild 3 dunkelgrün dargestellt) sind in der Zone III nicht erfasst. Bei Straßenbaumaßnahmen in diesen Gebieten ist eine Mehrdicke für kleinräumige Klimaunterschiede zu berücksichtigen.

Wie aus der Tabelle 2 zu ersehen ist, wird mit den gewählten Grenzwerten das bewährte Dimensionierungsniveau von 60 % der zu erwartenden Frosteindringung beibehalten.

In der Kartendarstellung mit den gewählten Grenzlinien (Bild 4) zeichnen sich die Höhenlagen der Mittelgebirge deutlich ab. Die Flächen der betroffenen Höhenlagen sind aber jeweils kleiner als nach der Frostzonenkarte der RStO 01.

Betrachtet man die Fläche Deutschland insgesamt, dominiert die Frostzone II etwas stärker als in der früheren Version. Das entsteht zum einen dadurch, dass in Norddeutschland die Grenze zwischen Zone I und II nicht über Hannover, Schwerin und Greifswald, sondern westlicher über Hannover, Hamburg und Kiel verläuft und zum anderen Randzonen von Höhenlagen aus der ehemaligen Frostzone III jetzt der Zone II zugeordnet werden.

Durch die Überlagerung mit den BISStra-Daten der BAST (BISStra: Bundesinformationssystem Straße) werden die Bundesautobahnen grafisch über die Frostzonenkarte gelegt, um eine schnelle und einfache Lokalisierung zu ermöglichen. Zur zusätzlichen Orientierung sind Ländergrenzen, die Flächen größerer Städte und ein Gitter der Hoch- und Rechtswerte dargestellt. Es ist vorgesehen, diese Karte im Internet auf der BAST-Seite zu veröffentlichen. Dies ermöglicht eine digitale Vergrößerung der Karte und eine detaillierte Betrachtung einzelner Regionen.

7 Ausblick

In den Jahren 2008/2009 wurde an der TU Dresden ein Forschungsauftrag zur Überprüfung und Bewertung der Frostdimensionierung nach RStO bearbeitet. Durch alternative Berechnungsmethoden, neue Rechentechnik und umfangreiches Datenmaterial von Temperaturmessstellen in Fahrbahnen und Böden wird die numerische Simulation der Frosteindringtiefe den tatsächlichen Messwerten gegenübergestellt. Ziel ist die Entwicklung besserer Berechnungsmethoden zum tatsächlichen Temperaturverlauf bei Frosteinwirkung für

unterschiedliche Straßenaufbauten. Wie zu erwarten, zeigen die Ergebnisse dieser Simulationsrechnungen eine stärkere Detaillierung der Ergebnisse durch die Möglichkeit einer exakteren Berücksichtigung der Einwirkungen und der unterschiedlichen Materialparameter. Sie bestätigen jedoch prinzipiell auch die Berechnungen der BASt [2], die den bisherigen Festlegungen und der neuen Kartendarstellung zugrunde liegen.

8 Fazit

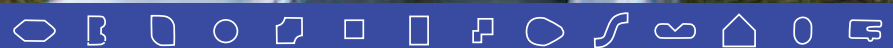
Die neue Frostzonenkarte stellt aufgrund ihrer statistisch abgesicherten Zuverlässigkeit und ihrer Auflösung eine neue Qualität dar. Der Frostindex bleibt weiterhin die Basis zur Dimensionierung der Frosteintrittstiefe. Bezugsbasis ist aber nicht mehr der Winter 1962/1963, sondern ein statistisch aus 50 Beobachtungsjahren ermittelter Frostindex, der einmal in 30 Jahren zu erwarten ist.

Das langjährig bewährte Niveau der Frostmessung bleibt dabei unverändert. Die Genauigkeit der räumlichen Zuordnung steigt. Die neue Karte führt daher in einigen Bereichen zu Veränderungen bei der Zuordnung in die jeweilige Frostzone. Dies ist aber für die Herstellung eines einheitlichen Dimensionierungsniveaus unvermeidlich.

Wie in den RStO ausdrücklich erwähnt, sollte der Planer bei der Festlegung der Dicke des frostsicheren Straßenoberbaus unbedingt lokale Besonderheiten und Erfahrungen berücksichtigen.

Literaturverzeichnis

- 1 RStO (2001): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 86/Ergänzte Fassung 1989, neue Fassungen 1991 und 2001.
- 2 Entstehung und Verhütung von Frostschäden an Straßen. Schriftenreihe „Forschung im Straßenwesen“, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Heft 105/1992.
- 3 Behr, H. et al. (1972): Anwendung von Dämmschichten im Straßenbau. Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Heft 86, Kirschbaum Verlag Bonn-Bad Godesberg.
- 4 Behr, H.: Über klimatische Grundlagen für Frostschutzmaßnahmen im Straßenbau. Straße und Autobahn, Heft 4/1984, S. 135-140.
- 5 Bericht über die Frostschäden des Winters 1939/40; Der Generalinspektor für das deutsche Straßenwesen, Volk und Reich Verlag Berlin
- 6 Kübler, G. (1964): Der Einfluss der Witterungsfaktoren auf die Frostgefährdung von Straßen. Bundesanstalt für Straßenbau, Wissenschaftliche Berichte, Heft 3/1964, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin-München.
- 7 Kirchner, S.; Plehm, T. (1999): Klimatologische Untersuchungen zur Präzisierung der Frosteintrittszonen im Land Brandenburg. Straße und Autobahn, Heft 4, S. 183-185.
- 8 Bader, E.; Rossberg, K.; Wolf, M. (1996): Neue Frostzonenkarte für den Straßenbau des Freistaates Sachsen. Straße und Autobahn, Heft 5, S. 264-267.
- 9 Gerth, W.-P.; Roos, M.; Augter, G. (2008): Aktualisierung der Frostdimensionierung im Straßenbau. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn, Heft 1002.



Stahlschutzplanken für mehr Sicherheit.

Denn Stahl ist flexibel wenn's wichtig wird.
Kompatible Baukastensysteme, mit Restsicherheit
und Wettbewerbsgarantie, bedeuten höhere
Wirtschaftlichkeit. Das bieten unsere Mitgliedsfirmen.



GÜTEGEMEINSCHAFT STAHLSCHUTZPLANKEN E.V.

Spandauer Straße 25
57072 Siegen

Telefon: 0271/53038
Telefax: 0271/56769

email: info@guetegemeinschaft-stahlschutzplanken.de
www.guetegemeinschaft-stahlschutzplanken.de