

Markus Spiegl

Untersuchungen zur Frosteindringung in den Straßenaufbau

Diplomarbeit

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2001 Diplom.de
ISBN: 9783832456382

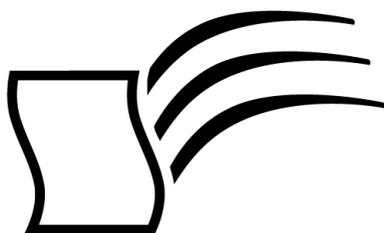
Markus Spiegl

**Untersuchungen zur Frosteindringung in den Straßen-
aufbau**

Markus Spiegel

Untersuchungen zur Frosteindringung in den Straßenaufbau

Diplomarbeit
an der Technischen Universität Wien, 7
Fachbereich Bauingenieurwesen
1 Jahr Bearbeitungsdauer
November 2001 Abgabe



Diplom.de

Diplomica GmbH _____
Hermannstal 119k _____
22119 Hamburg _____

Fon: 040 / 655 99 20 _____
Fax: 040 / 655 99 222 _____

agentur@diplom.de _____
www.diplom.de _____

ID 5638

Spiegel, Markus: Untersuchungen zur Frosteindringung in den Straßenaufbau / Markus Spiegel
- Hamburg: Diplomica GmbH, 2002

Zugl.: Wien, Technische Universität, Diplomarbeit, 2001

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Diplomica GmbH
<http://www.diplom.de>, Hamburg 2002
Printed in Germany

Kurzfassung

Untersuchungen zur Frosteindringung in den Straßenaufbau

Das Ziel der vorliegenden Diplomarbeit ist, eine einfache Methode zur Berechnung der Frosteindringtiefe zu finden, die alle wesentlichen Einflussfaktoren berücksichtigt. Zu diesem Zweck werden die Straßenbaurichtlinien von Österreich, Schweiz, Frankreich und Deutschland hinsichtlich der Berücksichtigung des Frostes in der Straßenbautechnik untersucht. Anschließend werden unterschiedliche Berechnungsmethoden für die Frosteindringtiefe kritisch hinterfragt. Anhand von Vergleichsberechnungen für einen Modellaufbau werden die nach den unterschiedlichen Methoden berechneten Frosteindringtiefen, den an einem entsprechenden Versuchsaufbau gemessenen gegenübergestellt. Aufgrund dieses Vergleiches wird die Methode nach Skaven-Haug für eine Sensitivitätsanalyse zur Ermittlung der Einflussfaktoren auf die Frosteindringtiefe ausgewählt. Diese Analyse hat ergeben, dass die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Frosteindringtiefe der Wassergehalt, die Wärmeleitfähigkeit und der Frostindex sind. Werden die Wärmeleitfähigkeit und der Frostindex gesteigert, erhöht sich damit auch die Frosteindringtiefe. Im Gegensatz dazu bewirkt ein hoher Wassergehalt eine Verkleinerung der Frosteindringtiefe.

Summary

Analysis of the frost penetration into the road construction

The objective of this master's thesis is to find a simple method to calculate the frost penetration and to find the most important factors of influence. For this reason the guidelines for road construction of Austria, Switzerland, France and Germany are investigated with regard to the consideration of frost in pavement design. Furthermore different methods to calculate the frost penetration are explained. The results of these calculations are compared to the real frost penetration, measured in a field study. On the basis of this comparison the method of Skaven-Haug is selected for an analysis of sensitivity. This study shows, that the most important factors as regards frost penetration are the water content, the heat conductivity and the frost index. A raising of the heat conductivity and the frost index causes a higher frost penetration, whereas a raising of the water content reduces the frost penetration.

Vorwort

Mein Interesse daran, die Frosteindringung in den Straßenaufbau näher zu untersuchen, weckte Univ. Ass. Dipl. –Ing. Michael Wistuba, dem ich vor allem für seine Anregungen und die intensive Betreuung herzlich danken möchte.

Wichtige Beiträge verdanke ich auch Univ. Prof. Dipl. –Ing. Johann Litzka, der sich für meine Anliegen viel Zeit genommen hat.

Meinen Eltern Elfriede und Karl Spiegl möchte ich sagen, dass ich die Ermöglichung meiner Ausbildung sehr zu schätzen weiß. Ihnen und meinen fünf Geschwistern verdanke ich viel Verständnis und großen familiären Rückhalt. Ihnen widme ich diese Diplomarbeit.

Wien, im November 2001

Markus Spiegl

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Frosteinwirkung im Straßenkörper	2
2.1. Eislinsenbildung	3
2.2. Frosthebungen	4
2.3. Tauschäden	6
3. Berücksichtigung des Frostes in europäischen Straßenbaurichtlinien	7
3.1. Österreich	7
3.2. Schweiz	12
3.3. Frankreich	21
3.4. Deutschland	29
4. Berechnung der Frosteinwirkung in den Straßenaufbau.....	36
4.1. Begriffsdefinitionen.....	36
4.2. Wärmedämmschichtprogramm WDSP	47
4.3. Näherungsformel von Behr	54
4.4. Näherungsformel nach Hain	58
4.5. Beziehung nach Brown	64
4.6. Stefan - Formel	65
4.7. Berggren - Formel	66
4.8. Methode nach Skaven-Haug	68
4.9. Methode von Pusakow.....	71
4.10. Vergleich der Berechnungsmethoden	71
5. Sensitivitätsanalyse zur Ermittlung der Einflussfaktoren auf die Frosteinwirkung	82
5.1. Gewählter Modellaufbau	82
5.2. Frostindex und Schichtdicke	83
5.3. Wassergehalt und Wärmeleitfähigkeit	85
5.4. Kombination aller Einflussfaktoren	89
5.5. Schlussfolgerung.....	91
6. Zusammenfassung.....	92
Literaturliste	95
Anhang	98

1. Einleitung und Zielsetzung

Neben den Verkehrsbelastungen sind die klimatischen Einwirkungen auf die Straße wesentliche Einflussgrößen für die Zustandsentwicklung einer Straßenbefestigung. In den gemäßigten Klimaregionen Mitteleuropas ist das Frostphänomen eine bestimmende Klimakomponente während der kalten Jahreszeit. Aufgrund der schwankenden Temperaturen um den Gefrierpunkt treten in den Wintermonaten vermehrt Frost-Tau-Wechsel auf, die in Verbindung mit Wasser in all seinen Erscheinungsformen den Straßenaufbau sehr stark beanspruchen.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es einerseits, verschiedene europäische Straßenbau Richtlinien hinsichtlich der Berücksichtigung des Frostphänomens zu untersuchen. Es wird ermittelt, welche Anforderungen an das Material und den Untergrund gestellt werden, unter welchen Bedingungen eine Dimensionierung auf Frost erfolgt und wie bei dieser Dimensionierung vorgegangen wird.

Andererseits werden in dieser Diplomarbeit unterschiedliche Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Frosteindringtiefe in den Straßenaufbau, wie das Computerprogramm WDSP (Wärmedämmschichtprogramm, © BASF) und einfachere Näherungsverfahren erläutert und kritisch hinterfragt. Anhand von Vergleichsberechnungen für einen Modellaufbau werden die nach den unterschiedlichen Methoden berechneten Frosteindringtiefen den an einem entsprechenden Versuchsaufbau gemessenen gegenübergestellt.

Nach der Auswahl einer Berechnungsmethode werden abschließend anhand einer Sensitivitätsanalyse die bestimmenden Einflussfaktoren auf die Frosteindringtiefe ermittelt und ihre Auswirkungen an einem gewählten Modellaufbau dargestellt.

2. Frosteinwirkung im Straßenkörper

Unter Frostwirkung sind sämtliche physikalischen Erscheinungen zu verstehen, die in den Materialien des Straßenaufbaus während der Zeit, in der die Temperatur weniger als 0°C beträgt, auftreten. Die Klimakomponente Frost spielt eine wesentliche Rolle in den gemäßigten Klimaregionen Mitteleuropas. Aufgrund der schwankenden Temperaturen um den Gefrierpunkt treten während der Wintermonate vermehrt Frost-Tau-Wechsel auf. Diese Frost-Tau-Wechsel ergeben gemeinsam mit dem ständig anwesenden Wasser in all seinen Erscheinungsformen schwierige Bedingungen für den Straßenbau.

Eine sehr wichtige Erscheinungsform des Wassers ist Eis. Es entsteht beim Gefrieren von Wasser durch Abgabe von Wärme. Aufgrund der Volumenzunahme von rund 10 % (siehe Abbildung 2.1) entwickelt das in den Hohlräumen eingeschlossene Eis eine Sprengwirkung, die die Straßenbefestigung zerstören kann.

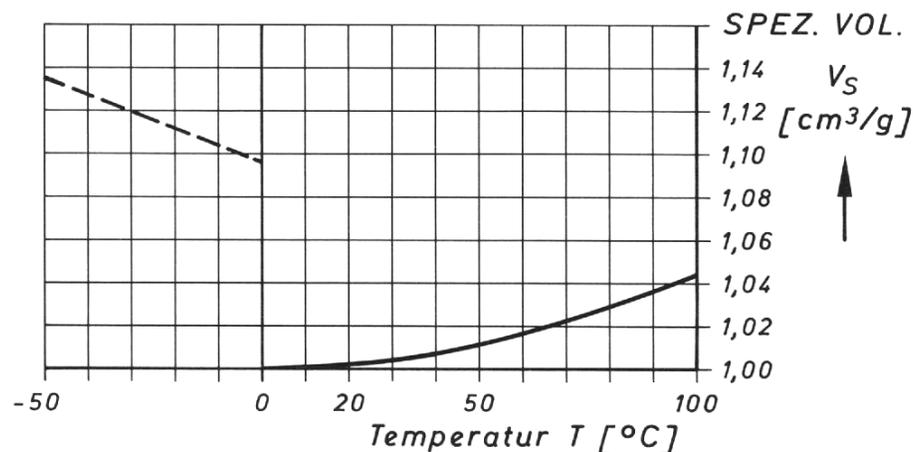


Abbildung 2.1: Spezifisches Volumen von Wasser und Eis in Abhängigkeit von der Temperatur [5]

2.1. Eislinnenbildung

Das Frieren des Bodens und die damit verbundene Änderung des Wasserhaushaltes findet in Abhängigkeit von der Kornform und der Mineralogie des Bodens auf unterschiedliche Weise statt [6]. Handelt es sich beim Boden um einen nichtbindigen Boden, so gefriert dieser homogen. Es kommt beim Gefrieren dieses Bodens zu keiner Volumenzunahme, wenn der Boden nicht wassergesättigt ist, weil nur der Anteil der Luftporen verkleinert wird. Sollte der Boden wassergesättigt sein, erfolgt - solange das Bodenwasser aus der Gefrierzone in den Grundwasserleiter ausgepresst werden kann - keine Volumenvergrößerung. Ist das Auspressen nicht möglich, kommt es zu Frosthebungen.

Handelt es sich beim Boden um einen bindigen Boden, so gefriert dieser inhomogen. Sollten aber sehr tiefe Temperaturen vorherrschen und es zu einer schnellen Abkühlung kommen, sodass die Zeit für eine Änderung der Verteilung des Bodenwassers nicht ausreicht, dann kann es auch bei bindigem Boden homogenen Bodenfrost geben. In der Regel gefriert er aber inhomogen und es bilden sich sogenannte Eislinnen. Grund für die Eislinnenbildung sind thermodynamische Vorgänge an der Grenzfläche Wasser-Eis (siehe Abbildung 2.2). Bei diesem Vorgang wird Wasser aus dem ungefrorenen Untergrund angesaugt, wodurch sich eine zur Oberfläche gerichtete Wasserströmung ausbildet. Durch dieses Ansaugen steigt der Wassergehalt in der Frostzone, was wiederum zu einem Wachsen der Eislinnen führt. Die Menge des hochgesogenen und zu Eis umgewandelten Wasser ist abhängig von

- der Einwirkungsdauer des Frostes,
- der Frostintensität,
- dem wirksamen Korndurchmesser der Bodenteilchen,
- der Wasserdurchlässigkeit des Bodens,
- den Wasserverhältnissen (Bodenfeuchtigkeit, Grundwasserstand),
- mineralphysikalischen und -chemischen Eigenschaften der Feinstkornanteile [5].