

P. SIEDEK

OBERREGIERUNGSRAT, LEITER DER ABTEILUNG BAUGRUND,  
BUNDESANSTALT FÜR STRASSENBAU, KÖLN (DEUTSCHLAND)

---

# Praktische Erfahrungen in der Frostforschung in Deutschland

---

①

Schweiz. Gesellschaft für Bodenmechanik und Foundationstechnik  
Société suisse de mécanique des sols et des travaux de fondation

---

Sonderdruck aus «Strasse und Verkehr», Band 42, Nr. 7, Jahrgang 1956

Buchdruckerei Vogt-Schild AG, Solothurn

# Praktische Erfahrungen in der Frostforschung in Deutschland

Von Oberregierungsrat *P. Siedek*,

Leiter der Abteilung Baugrund, Bundesanstalt für Straßenbau, Köln (Deutschland)\*

Der Bericht über «Praktische Erfahrungen in der Frostforschung in Deutschland» befaßt sich mit den in den letzten Jahren in Deutschland unternommenen Bemühungen, die Frostschäden, deren Beseitigung jedes Jahr große Kosten verursacht, auf ein geringstes Maß zu beschränken oder besser ganz auszuschließen. Diese Bemühungen erstrecken sich in zwei Richtungen: Einerseits wird versucht, frostgefährdete Straßen in den Tagen des Frostaufganges durch Verkehrsbeschränkungen soweit wie möglich zu schonen, andererseits ist mit einer Reihe von Untersuchungen begonnen worden, um die Kenntnisse, die für einen vollständigen und wirtschaftlichen Ausbau der gefährdeten Straßen, bzw. für deren Neubau notwendig sind, zu erweitern.

Die erste Richtung, die die Schonung frostgefährdeter Straßen zum Ziele hat, ist für den Straßenverkehr in Deutschland von besonderer Bedeutung, da die frostkranken Straßen auch bei Durchführung des vor kurzem angekündigten 10-Jahresplanes noch viele Jahre in befahrbarem Zustand gehalten werden müssen. Gelänge es nicht, diese Straßen zu erhalten und würden diese jedes Jahr immer wieder auf weite Strecken hin zerstört werden, so müßten laufend große Mittel in die Wiederherstellung gesteckt werden, und der systematische Ausbau des Straßennetzes würde dadurch stark beeinträchtigt.

Im ersten Teil dieses Berichtes soll daher über die Verkehrsbeschränkungen auf den Straßen bei Frostaufgang gesprochen werden. Dabei sollen aber weniger die organisatorischen Fragen behandelt werden, da sie für die Frostforschung von geringerer Bedeutung sind. Im Mittelpunkt dieser Erörterung sollen die Maßnahmen stehen, die die Unterlagen liefern, wann gesperrt werden soll und wann die Beschränkungen wieder aufgehoben werden können, mit welchem Ausmaß von Schäden gerechnet werden muß usw. Wenn auch diese Maßnahmen für einen in erster Linie organisatorischen Zweck, wie die Schonung der Straßen, durchgeführt werden, so sind die dabei gewonnenen Erfahrungen auch für die allgemeine Frostforschung von Bedeutung.

\* Vortrag, gehalten am 9. April 1956, anlässlich der Frosttagung der Schweizerischen Gesellschaft für Bodenmechanik und Fundationstechnik in Zürich.

Über den zweiten Teil der Frostuntersuchungen, die sich mit der Planung frostfreier Straßen befassen, soll hier nur wenig berichtet werden, da die Ergebnisse dieser Untersuchungen aus den Arbeiten von Schaible [1] und Dücker [2], die nach 1945 in Deutschland durchgeführt und in den letzten Jahren veröffentlicht wurden, als bekannt vorausgesetzt werden dürfen. Über weitere Untersuchungen, die von der Bundesanstalt für Straßenbau in Angriff genommen wurden, ist es noch zu früh zu berichten, da solche Arbeiten langwierig sind und erst nach mehreren Jahren Ergebnisse erwarten lassen. Es sollen lediglich einige Bemerkungen über das Programm mitgeteilt werden.

## 1. Sperrung frostgefährdeter Straßen

Die Aufgabe, die frostkranken Straßen soweit wie möglich zu erhalten, war in erster Linie eine organisatorische Aufgabe. Sie bestand darin, diese gefährdeten Straßen in der Zeit des Auftauens zu schonen, d.h. die Lasten und die Geschwindigkeiten zu begrenzen.

Nachdem schon im Winter 1952/53 in Bayern einzelne Straßen für schweren Verkehr gesperrt worden waren, wurden im Herbst 1953 durch einen Erlaß des Bundesverkehrsministeriums [3] Verkehrsbeschränkungen für das Frühjahr 1954 angekündigt und die Ausarbeitung einer *Frostschädenzustandskarte* und einer *Frostschäden-gefährdenkarte* angeordnet.

Die Frostschädenzustandskarte sollte alle Straßenabschnitte, auf denen in den letzten Jahren Frostschäden aufgetreten waren, enthalten. Die Schäden waren dabei in schwere, mittlere und leichte einzuteilen und auf der Karte in verschiedenen Farben darzustellen.

Die 2. Karte, die Frostschädengefahrenkarte, war dazu bestimmt, Vorschläge für die erforderlich gehaltenen Verkehrsbeschränkungen aufzuzeigen. Je nach der Schwere der zu erwartenden Frostschäden sollten Sperrungen der Straßen für bestimmte Fahrzeuglasten vorgesehen werden. Auch an eine Geschwindigkeitsbegrenzung auf 20 km/h war gedacht.

Diese beiden Karten waren von den Bundesländern aufzustellen. Sie wurden dem Bundesverkehrsministe-

rium eingereicht und zu einer Gesamtübersicht für das ganze Bundesgebiet ausgearbeitet. Von diesen beiden Karten, die für Deutschland in ihrer Art neu waren, ist besonders die Frostschädenzustandskarte von allgemeinem Interesse. Aus ihr können eine Reihe von Einzelheiten abgelesen werden. So tritt klar in Erscheinung, wie stark der Umfang und der Grad der Frostschäden in den einzelnen Gebieten von der Geologie und von dem Klima abhängen. Daß diese Karte für die weitere Planung zur Schaffung durchgehender, nicht frostgefährdeter Straßenzüge von großer Bedeutung ist, braucht nicht erst besonders hervorgehoben zu werden. Aber auch scheinbar untergeordnete Tatsachen verrät die Karte. An manchen Bauamtsgrenzen endigen plötzlich die Zeichen frostgefährdeter Straßen. Daraus läßt sich entweder schließen, daß dieses Bauamt seine Straßen durch systematische Beseitigung örtlicher Schäden in gutem Zustand hält, oder in diesem Bauamtsbezirk ist das Wissen über die Frostschäden noch recht mangelhaft.

Am Ende des Winters 1953/54 wurde eine dritte Karte ausgearbeitet, auf der die tatsächlich durchgeführten Verkehrsbeschränkungen dargestellt sind. Die Eintragungen zeigen gegenüber der zweiten Karte eine erhebliche Vereinfachung, die in oft recht schwierigen Verhandlungen mit den Verkehrsteilnehmern festgelegt wurden. Wie schwierig im ersten Jahr diese Verhandlungen waren, darüber soll hier nicht weiter berichtet werden, da dies von dem eigentlichen Thema zu weit wegführen würde. Diese organisatorischen Fragen wurden in einem Bericht von Ministerialrat *Eymann* vom Bundesverkehrsministerium zusammengefaßt [4]. Die Schwierigkeiten bei der Vorbereitung dieser Maßnahmen nahmen aber in den folgenden Jahren ab, da der Verkehr die Zweckmäßigkeit dieser Beschränkungen langsam erkannte. Auch wurden die im ersten Jahr vorgeschlagenen Last- und Geschwindigkeitsbeschränkungen in den folgenden Jahren vielfach vereinfacht und teilweise den Anforderungen des Verkehrs besser angepaßt. Heute kann festgestellt werden, daß die Organisation der Sperrungen schon so weit durchgebildet ist, daß diese Maßnahmen in den künftigen Wintern ohne allzu große Schwierigkeiten durchgeführt werden können.

Um den Verkehrsteilnehmern die Möglichkeit zu geben, sich auf die Verkehrsbeschränkungen einzustellen, wurde in jedem Jahr eine Karte herausgebracht, die die vorgesehenen Beschränkungen erkennen läßt. Die Karte wurde in jedem Jahr verbessert. In diesem Winter wurden in dieser Karte das erste Mal *die* Straßen gekennzeichnet, die auf jeden Fall offengehalten werden sollen. Die Kennzeichnung solcher Straßen, die als Positivstraßen bezeichnet werden, ist für den Verkehr von besonderem Wert. Ferner wurden Flugblätter herausgegeben, die die Aktion unterstützen sollten und die besonders in diesem Jahr bei den Verkehrsteilnehmern viel Anklang fanden.

## 2. Geräte, um den Zeitpunkt der Sperrung, bzw. Öffnung der Straßen zu erkennen

### a) Frostindikator

Bei der Vorbereitung der Sperrungen trat sofort die Frage auf, wie der Zeitpunkt für die Sperrung und für

die Wiederöffnung der Straße einwandfrei bestimmt werden kann. Besonders der Verkehr legte Wert darauf, daß die Sperrungen so kurz wie möglich aufrechterhalten werden.

Zu diesem Zweck wurden vorerst 2 Geräte entwickelt, der Frostindikator [5] und die registrierende Schlagsonde.

Der Frostindikator (Abb.1) besteht aus einer 1 m langen Stange, an die in 10 cm Abstand voneinander Pappscheiben aufgeschoben sind. Zwischen je 2 Scheiben ist ein Gummischlauch eingebaut, der einen mit Wasser getränkten Gummischwamm enthält und oben und unten dicht abgeklemmt ist. Von diesen Schläuchen führen Stangen nach oben und enden in Tasten.



Abb. 1. Frostindikator

Dieses Gerät wird in ein Betonrohr von 10 cm lichter Weite, das in den Erdboden einbaut wird, eingesetzt. Das Betonrohr wird dann durch einen gußeisernen Deckel verschlossen. Dringt nun der Frost in den Boden ein, so dringt er auch im Betonrohr tiefer, und ein Schlauch nach dem anderen wird durch das Gefrieren des Wassers steif. Werden nun die Tasten gedrückt, so geben alle *die* Tasten nach, unter denen das Wasser in den Schläuchen noch nicht gefroren ist, während sich die Tasten nach dem Einfrieren der Schläuche nicht mehr betätigen lassen. Da die Schläuche in Abständen von 10 cm angeordnet sind, ist es möglich, die Frosttiefe auf 10 cm genau anzugeben. Nach der Fertigstellung dieses Gerätes wurden natürlich Bedenken laut, ob denn der Frost innerhalb des Betonrohres mit der gleichen Geschwindigkeit vor-



dringt, bzw. zurückgeht wie in dem umgebenden Erdreich. Untersuchungen in der Bundesanstalt für Straßenbau in Köln im Winter 1953 haben aber nachgewiesen, daß die Frostgrenze außen und innen tatsächlich ohne große Abweichungen fortschreitet. Die Untersuchungen wurden auf einem freien Feld durchgeführt. Ein Frostindikator wurde eingebaut und in geringer Entfernung davon die Bodentemperatur laufend mit Bodenthermometern in verschiedenen Tiefen gemessen und die Frostgrenze mit einer Sonde bestimmt. Die Untersuchungen lassen deutlich erkennen, daß eine gute Übereinstimmung zwischen den durch den Indikator und durch die Sonde bestimmten Grenzen besteht. Auch Vergleichsmessungen an 20 Indikatoren während des heurigen Winters haben in Hessen eine gute Übereinstimmung der Frostgrenze im Boden mit den Angaben der Frostindikatoren gezeigt. Erwähnenswert ist aber, daß die Frostgrenzen nicht mit der Nullgradlinie zusammenfallen, sondern daß der gefrorene Bereich mit einer ungefrorenen Zone, in der die Temperatur  $0^{\circ}$  beträgt, umgeben ist. Durch Verfolgung der Bodentemperaturen allein kann daher die Frostgrenze nicht einwandfrei festgestellt werden.

In der Praxis ergaben sich anfangs erhebliche Schwierigkeiten. Die Indikatoren, die erst im Januar 1954 zur Auslieferung kamen, mußten zu einer Zeit eingebaut werden, als der Boden schon teilweise gefroren war. In den 3 Wintern, in denen die Indikatoren in Gebrauch sind, hat sich jedoch gezeigt, daß sie recht brauchbare Geräte sind, um die jeweilige Frosttiefe zu bestimmen. Ein einwandfreies Funktionieren wird aber nur dann erreicht, wenn bestimmte Gesichtspunkte beachtet werden. Vor allem muß das Betonrohr so in den Untergrund eingebaut werden, daß der Boden soweit wie möglich ungestört bleibt, bzw. so wieder um das Rohr eingefüllt und verdichtet wird, wie er ursprünglich vorgefunden worden war. Hohlräume, die bei einem unzureichenden Verfüllen um das Rohr verbleiben, stören und führen durch ihre isolierende Wirkung zu starkem Verschieben der Nullgradlinie. Mit erheblichen Abweichungen ist natürlich auch dann zu rechnen, wenn der Indikator, der neben der Straße eingebaut wird, in der kritischen Zeit mit Schnee bedeckt ist oder von sonstigen klimatischen Einflüssen beherrscht wird, die von denen unter der Straße stark abweichen. Ferner mußte festgestellt werden, daß bei den Indikatoren überall dort, wo der Grundwasserspiegel im Bereich des Betonrohres lag, Wasser in das Rohr eintrat. Schutzanstriche und sonstige Maßnahmen führten hier zu keinem Erfolg. Auch ein Überzug aus einer festen Gummihaut versagte, da der Gummi beim Absenken des überzogenen Rohres durch spitze Steine leicht zerschnitten wurde.

Ferner ergab sich die Notwendigkeit, die Indikatoren ständig zu warten und im Frühjahr aus den Rohren herauszunehmen und im geschlossenen Raum zu verwahren. Vor dem Wiedereinbau müssen sie durchgesehen und daraufhin kontrolliert werden, ob noch Wasser in den Schläuchen vorhanden ist. In manchen Fällen war das Wasser in den Schläuchen verdunstet. Es war dann nicht verwunderlich, daß solche Indikatoren bei Frost nicht mehr anzeigten. Die wichtigste Voraussetzung für das gute Funktionieren dieser Geräte ist aber, daß der-

jenige, der sie laufend beobachtet, auch an ihr Funktionieren glaubt und jedem Fehler, den er merkt, sorgfältig nachgeht und zu beseitigen trachtet. Dies zu erreichen war im ersten Jahr nur in wenigen Fällen möglich, denn es herrschte in den Kreisen der Straßenbauer eine gewisse Skepsis, ob diese noch nicht erprobten Geräte auch funktionieren werden. Natürlich wäre es besser gewesen, den Indikator zuerst einmal richtig auszuprobieren und erst dann, wenn die Einbaubedingungen bekannt waren, in der Praxis einzusetzen. Der Einsatz einer so großen Anzahl von Indikatoren im ganzen Bundesgebiet war aber erforderlich, um dem Verkehr nachweisen zu können, daß alles geschähe, ihre Forderung, die Sperrung auf ein Mindestmaß zu beschränken, erfüllen zu können. Diese verkehrspolitische Maßnahme wirkte sich für die Erprobung dieses Gerätes nicht vorteilhaft aus. Und es bedarf jetzt einer intensiven Unterrichtung, um diejenigen, die durch fehlerhaften Einbau oder fehlerhafte Behandlung vorerst einmal abgeschreckt wurden, wieder dafür zu gewinnen.

#### b) Registrierende Schlagsonde

Das zweite Gerät, das zur Bestimmung der Frosttiefe beim Auftauen des Bodens entwickelt wurde, ist die registrierende Schlagsonde [5].

Das Gerät ist eine Schlagsonde mit einem Bärge-  
wicht von 4 kg und einer Fallhöhe von 40 cm (Abb.2). Die

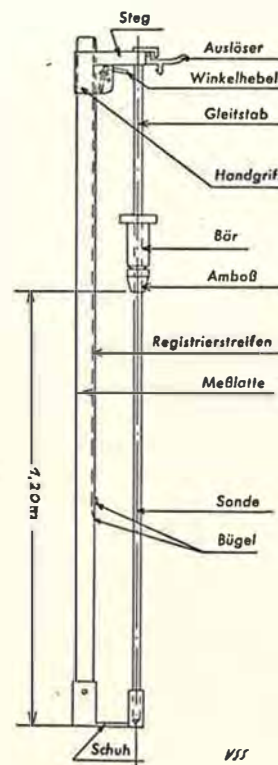


Abb. 2. Registrierende Schlagsonde

gehärtete Spitze mit einem Winkel von  $60^{\circ}$  hat einen Durchmesser von 2 cm und einen Querschnitt von  $3,14 \text{ cm}^2$ . Die Sonde wurde so konstruiert, daß sie von einem Mann leicht bedient und evtl. auch auf dem Fahrrad mitgenommen werden kann. Die besondere Eigenart

der Sonde besteht in ihrer Registriervorrichtung, die es ermöglicht, das Eindringen der Sonde bei jedem Schlag aufzuzeichnen. Jedesmal, wenn der Bär hochgehoben wird, trifft er gegen einen Winkelhebel, der einen Dorn in den an der Holzlatte befestigten Metallstreifen schlägt. Nach Beendigung der Sondierung ist das Protokoll auf dem Metallstreifen eingeschlagen. Mit anderen Streifen auf ein Brett genagelt, ist ein Vergleich der Sondierergebnisse einzelner Streifen untereinander oder mit einem Streifen, der als Vergleichsbasis dienen soll, einfach durchzuführen. Der große Unterschied des Widerstandes von gefrorenem und ungefrorenem Boden läßt die Frostgrenze leicht erkennen. Auch die Sonde fand leider nicht die allgemeine Anerkennung, die man erwartet hatte. Sie ist für die Bestimmung der Frosttiefe unter den Straßendecken etwas leicht. Die Straßendecke kann von ihr selbst nicht durchstoßen werden, und auch im gefrorenen Boden ist das Vordringen der Sondenspitze je Schlag sehr gering. Trotzdem bewährte sie sich überall dort, wo sie in berufene Hände kam und die auftretenden Schwierigkeiten dadurch überwunden wurden, daß die Straßendecke zuerst mit einem anderen Gerät durchschlagen wurde. Dort, wo man sich um ihren Einsatz nicht weiter bemühte, wurde die Sonde beiseite gelegt, erlebte aber in dem letzten Jahr eine Auferstehung, da sich diese Sonde für die Nachprüfung der Verdichtung von Schüttungen und von Frostschutzschichten als sehr gut geeignet zeigte. Auf vielen Baustellen wird sie jetzt für die Baukontrolle eingesetzt.

### c) Frostnagel

Bei den ständigen Bemühungen, das Ausmaß der zu erwartenden Frostschäden voraussagen zu können, wurde im vergangenen Jahr ein weiteres Gerät entwickelt, der Frostnagel [7], der die Hebung der Straße während des Frostes anzeigt. Der Frostnagel besteht aus einem zylinderförmigen Kopf aus Gußeisen, in dem eine frei drehbare Scheibe eingebaut ist (Abb. 3). In diese Scheibe



Abb. 3. Kopf des Frostnagels

greift eine Stange aus Torstahl ein, die etwa 1,5 m lang ist und an ihrem unteren Ende im Untergrund der Straße einbetoniert wird. Mit ihren beiden schraubenförmigen Gräten versetzt die Torstahlstange beim Auf- und Abbewegen des Kopfes durch die Frosthebungen die Scheibe in Drehung. Die farbigen Leuchtfolien, die auf der Scheibe aufgeklebt sind, scheinen durch ein Fenster im gußeisernen Kopf durch, und jede Farbe zeigt eine bestimmte Hebung des Kopfes gegenüber dem im frostfreien Untergrund fest einbetonierten unteren Ende der Torstahlstange an. Farben anstelle von Zahlen wurden gewählt, um auch bei verschmutztem Fenster und in der Nacht beim Schein einer Taschenlampe die Stellung der Scheibe erkennen zu können. Die Ausdeutung der Farben erfolgt anhand einer besonderen Farbtafel. Da stets 2 Farben im Fenster zu sehen sind, kann die Hebung auf einen halben Zentimeter genau abgelesen werden.

Die Frostnägels, von denen in diesem Jahr vorerst zur Erprobung 13 Stück in verschiedenen Teilen der Bundesrepublik Deutschland von Angehörigen der Bundesanstalt für Straßenbau selbst eingebaut wurden, um diesmal Einbaufehler soweit wie möglich zu vermeiden, haben in diesem kalten Winter in fast allen Fällen gut funktioniert und Hebungen bis zu 12 cm angezeigt.

### 3. Meteorologische Untersuchungen

Die hier beschriebenen Geräte konnten bisher nur in wenigen Fällen mithelfen, den Zeitpunkt der Sperrungen zu bestimmen, da ihre Anzahl noch viel zu gering ist. Sie regten aber das zuständige Aufsichtspersonal immer wieder an, sich über die Verhältnisse im Boden zu unterrichten. Aus der tiefsten Lage der Frostgrenze, die mit dem Frostindikator abgelesen wird, ist es nicht schwierig, sich ein Bild über die drohende Gefahr zu machen. Auch beim Auftauen läßt der Indikator das Ansteigen der Frostgrenze und das Eindringen der Wärme von oben erkennen und vermittelt dem Beobachter ein wesentlich anschaulicheres Bild von den Vorgängen im Boden als es die Beobachtung der Oberfläche ermöglicht.

In ähnlicher Weise hilft der Frostnagel, während die Sonde in Zweifelsfällen leicht erkennen läßt, ob der Untergrund der Straße schon tragfähig genug ist, um den Straßenzug wieder dem Verkehr öffnen zu können.

Da stets längere Abschnitte eines Straßenzuges aus verkehrlichen Gründen gesperrt werden müssen, ergeben sich besonders im gebirgigen Gebiet Schwierigkeiten. Der Frostausgang tritt hier nicht überall gleichzeitig ein; und bei der Frage nach dem Zeitpunkt der Sperrung, bzw. Öffnung der Straße muß der ganze Abschnitt beachtet werden. Im allgemeinen hat sich gezeigt, daß frühzeitig gesperrt werden muß, und daß die Sperrungen mit allen Mitteln auch durchgeführt werden müssen, wenn Schäden vermieden werden sollen.

Schon die Vorbereitung der Sperrung benötigt 2–3 Tage, und es macht sich bezahlt, schon bei den ersten Anzeichen eines Tauwetters das Verfahren zur Sperrung einzuleiten und die Straße auch durch eine Kältezwiseperiode gesperrt zu lassen.

Zur Unterstützung der Bauämter bei ihrer verantwortungsvollen Aufgabe wurden noch weitere Maßnahmen in Angriff genommen. So ist in der Abteilung Bau-



grund der Bundesanstalt für Straßenbau Herr Dipl.-Ing. Kübler als Sachbearbeiter aller Fragen, die sich mit dem Frost, den Verkehrsbeschränkungen, der Meteorologie usw. befassen, ständig bemüht, den obersten Straßenbaubehörden der Länder und den Straßenbauämtern mit Rat und Tat zur Seite zu stehen. Er organisierte unter anderem eine Zusammenarbeit zwischen den Ämtern und den Wetterwarten. Letztere erklärten sich bereit, jederzeit langfristige Wettervorhersagen durchzugeben und bei einem plötzlich zu erwartenden Wetterumschlag die Ämter davon zu verständigen. Diese Voraussagen sind für die Ämter sehr nützlich und werden gerne eingeholt. Sie sind aber nicht unbedingt zuverlässig, wie der Wetterdienst selbst immer wieder betont. So war im vergangenen Jahr (1954/55) das Wetter schneller als die Vorhersagen, und die Sperrungen kamen bei dem plötzlichen Temperaturanstieg von nahezu 30° in 24 Stunden zu spät.

Ferner werden in der Bundesanstalt für Straßenbau laufend die Bodenfeuchten verfolgt [8], die bei verschiedenen Wetterämtern gemessen werden, denn es ist wertvoll zu wissen, ob bei Eintritt des Frostes wenig oder viel Feuchtigkeit im Boden vorhanden ist. Auch die Temperatursummenkurven, die aus den mittleren Tagestemperaturen aufgebaut werden, werden vielfach aufgetragen. Wieweit diese Kurve für die Voraussage für den zu erwartenden Umfang der Frostschäden von Wichtigkeit ist, ist noch nicht geklärt.

#### 4. Erdbodentemperaturmeßstellen (Pegelstationen)

Die meteorologischen Daten, die durch die laufende Beobachtung an den Geräten, wie Frostindikator, Sonde und Frostnagel, und bei dem Verfolg der Beobachtung der Bodenfeuchte und der mittleren Tagestemperatur durch den Wetterdienst gewonnen werden, stellen, wenn sie laufend gesammelt werden, ein wertvolles Material für die Frostforschung dar.

Zu diesen Beobachtungen gehört auch die laufende Messung der Erdbodentemperatur. Bei einer großen Anzahl von Wetterämtern werden schon seit vielen Jahren die Bodentemperaturen in verschiedenen Tiefen gemessen. Allerdings werden diese Beobachtungen in erster Linie für die Landwirtschaft durchgeführt, und die Schneedecke wird nicht geräumt. Die gemessenen Bodentemperaturen haben für den Straßenbau daher nur einen beschränkten Wert. Um den Temperaturverlauf im Boden bei schneefreier Oberfläche kennenzulernen, wurden schon vor 4 Jahren besondere Bodentemperaturmeßstellen – sogenannte Pegelstationen – von der Bundesanstalt zusammen mit dem Wetterdienst geplant und aufgebaut. Bisher wurden 4 solche Stationen errichtet, weitere 5 sind in Vorbereitung. An diesen Stationen wird unter einer 20 cm dicken Betonplatte von 4×4 m die Bodentemperatur in verschiedenen Tiefen gemessen. Für das Messen der Temperaturen unmittelbar unter der Betondecke und in den Tiefen 20, 35, 50 cm unter der Oberfläche werden Quecksilberthermometer verwendet, die aus einer mit Quecksilber gefüllten Metallröhre von 15 cm Länge und 2 cm Ø bestehen. Diese Röhre ist durch ein Kapillarröhrchen von mehreren Metern Länge mit einer Rohrschnecke, wie sie in den Manometern ein-

gebaut sind, verbunden. Die Druckschwankung des Quecksilbers in diesem geschlossenen System infolge der Temperaturänderungen verformt die Rohrschnecke, die ihrerseits wieder einen Zeiger und einen Schreibstift betätigt.

Schreibgeräte wurden gewählt, da in den oberen Schichten die Veränderungen der Temperatur sehr rasch erfolgen und durch 2 oder 3 Messungen am Tag nicht genügend erfaßt werden können.

Für die tieferen Schichten (1,00 und 1,50 m) wurden Stabthermometer eingebaut, die bei jeder Lesung herausgezogen werden müssen. Da aber die Temperaturschwankungen in den größeren Tiefen nur noch gering sind, genügt eine Ablesung je Tag.

Diese Thermometer, die Schreibgeräte und die Stabthermometer, die auf unserem Gelände schon über ein Jahr in Betrieb sind, haben sich sehr gut bewährt. Die Genauigkeit der Schreibgeräte ist ausreichend, sofern sie ab und zu durch Glasthermometer, die durch besondere Kunststoffrohre unmittelbar bis zu dem fest eingebauten Thermometer eingeführt werden, kontrolliert werden. Ein besonderer Vorteil dieser Einrichtung sind die geringen Kosten dieser Temperaturschreibgeräte, die wesentlich billiger sind als solche mit elektrischen Widerstandsthermometern.

Die Stationen werden auf dem Gelände der Wetterämter errichtet und von deren Angehörigen auch betreut. Ergebnisse dieser Stationen liegen noch nicht in einem solchen Umfang vor, daß darüber etwas berichtet werden könnte. Die ersten Beobachtungen lassen aber bereits erkennen, daß diese Stationen neben ihrer Aufgabe, maximale Frosteindringungstiefen festzustellen und das Eindringen des Frostes zu verfolgen, auch Hinweise liefern werden, wie z.B. der Boden auftaut und wann der kritische Zeitpunkt für die Straßensperrungen erreicht ist.

Damit ist aber die Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst noch nicht erschöpft. Da Angaben über den Einfluß des Klimas nur durch die Auswertung vieljähriger Beobachtungen gewonnen werden können, wurde zwischen der Bundesanstalt und dem Deutschen Wetterdienst vereinbart, daß das in den Archiven des Wetterdienstes lagernde Material für die Frostforschung ausgewertet und nutzbar gemacht werden soll. In diesem Rahmen wurden für besonders ausgewählte Stationen des Wetterdienstes, die für ein bestimmtes Gebiet als maßgeblich angesehen werden können, Daten zusammengetragen und übersichtlich dargestellt. So wurden neben dem Verlauf der Tagestemperaturen auch der Verlauf der Bodentemperaturen aufgetragen und Niederschläge bzw. die Schneedecke festgehalten. Gleichzeitig wurde die Temperatursummenkurve aus den mittleren Tagestemperaturen berechnet und aufgetragen. Die Auswertung dieses umfangreichen Materials ist im Gange, und wir erhoffen uns, Zusammenhänge zwischen der Kurvenform, die von den Witterungsverhältnissen bedingt ist, und dem Umfang der Frostschäden zu finden. Dazu bedarf es aber längerer Jahresreihen.

#### 5. Frostschutzschichten

Der Ausbau der Straßen kann aber auf die Ergebnisse dieser Untersuchungen nicht warten. Es ergab sich die

Notwendigkeit, schon jetzt genauere Angaben über die erforderliche Dicke der Frostschutzschichten zu machen. Überlegungen in dieser Richtung führten zu dem Entwurf einer Tabelle, aus der die Dicke der Frostschutzschicht entnommen werden kann. Die Tabelle, die hier nur teilweise dargestellt ist, berücksichtigt die Kornzusammensetzung des Untergrundes auf zweierlei Art, einmal nach dem Kriterium von A. Casagrande und gleichzeitig auch nach dem Kriterium nach Schaible. Die Kriterien selbst werden aber absichtlich nicht genannt, um endlich den Streit der Anhänger beider Kriterien, der in Deutschland sehr heftig entbrannt ist und für den keinerlei Aussicht besteht, ihn je zu schlichten, ein für alle Mal aus der Welt zu schaffen.

Außer der Kornzusammensetzung des Untergrundes wird auch noch das Klima, ferner trockene bzw. feuchte Lagen im Einschnitt oder auf einem Damm berücksichtigt und neben der Dicke der Frostschutzschicht auch die Tiefe des Erdplanums unter Fahrbahnoberkante angegeben. Nicht berücksichtigt ist in dieser Tabelle die Art der Decke, bzw. des Unterbaues, da die Ansichten über den Einfluß dieser Bauteile der Straße noch recht geteilt sind und noch keine verlässlichen Untersuchungsergebnisse vorliegen. So stehen zum Beispiel die Anhänger der Betondecke auf dem Standpunkt, daß unter dieser Deckenart die Frostschutzschicht etwa 10 cm dünner ausgeführt werden darf als bei Schwarzdecken, da die Steifigkeit des Betons einen aufgeweichten Boden besser überbrücken kann. Dagegen ist einzuwenden, daß Beton die Kälte schneller nach unten leitet und ungleiche Frosthebungen leicht zu Zerstörungen von Betondecken führen, während Schwarzdecken sicher eine wesentlich bessere Dämmwirkung besitzen. Der tiefere Grund für die Empfehlung dünnerer Frostschutzschichten bei Betondecken, die

technisch nur schwer begründet werden kann, dürfte auf das Bestreben zurückzuführen sein, die Kosten einer Betondecke möglichst niedrig zu halten.

Schließlich soll noch darauf hingewiesen werden, daß in Deutschland für die Frostschutzschicht ein besonderer Kornaufbau empfohlen wird.

#### 6. Untersuchung über die Wärmedämmung verschiedener Straßendecken und Unterbauarten

Das Fehlen von Angaben über den Einfluß der Deckenart ist sicher noch ein großer Nachteil dieser Tabelle, und es sollte alles darangesetzt werden, diesen Einfluß möglichst bald klarzustellen. Bemühungen dazu sind im Gange. So werden von Weil beim Materialprüfamt in Stuttgart im Zusammenhang mit der Versuchstrecke in Grunbach systematische Untersuchungen der Wärmedämmung verschiedener Deckenarten durchgeführt. Auch in der Bundesanstalt für Straßenbau sind solche Versuche in einer Großversuchsanlage geplant. Dieser Versuchsstand wurde gebaut, um Straßen mit ihrem Unterbau und ihrem Untergrund in natürlichem Maßstab zu untersuchen. Der Versuchsstand ist daher mit einer Gefrieranlage ausgerüstet, um die Frosterscheinungen zu studieren. Eine Belastungsvorrichtung soll über die Tragfähigkeit verschiedener Straßen Auskunft geben.

Der Versuchsstand, der vor 2 Jahren erbaut und Anfang dieses Jahres nach vielen Schwierigkeiten endlich in Betrieb genommen werden konnte, besteht aus einer dichten Betonwanne von 25 m Länge, 7,5 m Breite und 2,8 m Tiefe. Auf die Sohle der Wanne wurde zuerst eine grobe Kiesschicht und darüber Filtersteine aufgebracht. Auf diese Unterlage, die ein Einregulieren eines künstlichen Grundwasserstandes ermöglicht, wurde beim er-

#### Empfehlungen für die Bemessung von Frostschutzschichten

Kornanteil <sup>1</sup>			Erforderliche Dicke der Frostschutzschicht in cm auf			Mindesttiefe des Erdbauplanums unter FOK in cm auf <sup>2</sup>		
der Gesamtprobe	des Anteils der Probe < 2 mm		trockenem Untergrund		nassem Untergrund	trockenem Untergrund		nassem Untergrund
< 0,02 mm	< 0,02	< 0,1	Dämme > 2 m	Dämme < 2 m trock. Einschn.		Dämme > 2 m	Dämme < 2 m trock. Einschn.	
0—3 %	—	—	—	—	—	—	—	—
3—6 %	bis 10 %	bis 20 %	—	—	30	—	—	60
6—10 %	bis 15 %	bis 30 %	20	30	30	50	60	60
> 10 %	> 15 %	> 30 %	30	40	40	60	70	70

<sup>1</sup> Maßgebend für die Wahl der Abmessungen der Frostschutzschicht ist der Kornanteil, der die größte Mindesttiefe des Erdbauplanums unter FOK ergibt.

<sup>2</sup> Zur Berücksichtigung des Klimas muß in besonders kalten Gebieten und Lagen die Mindesttiefe um 10–20 cm vergrößert werden. – In besonders milden Gebieten und Lagen kann sie um 10 cm verringert werden.

Verbleiben zwischen der Konstruktionsdicke (Decke und Unterbau) und den o. a. Mindesttiefen unter FOK weniger als 15 cm, so ist auf jeden Fall eine Sauberkeitsschicht von 15 cm Dicke einzubauen.

Bei stark belasteten Straßen dürfen für die oberen 20 cm gleichkörnige Fein- und Mittelsande wegen ihrer geringen Verdichtungs- und Tragfähigkeit nicht verwendet werden. Kiesige Sande müssen in den oberen 20 cm einen Kieskornanteil über 2 mm  $\varnothing$  von 30–70 % und eine Ungleichkörnigkeitsziffer von mindestens 7 haben. Unter Betondecken soll das Größtkorn 30 mm nicht überschreiten.



sten Versuch Lehm Boden eingebaut, auf dem eine 10 cm dicke Sandschicht liegt, die mit einer dünnen Teerhaut nach oben abgedichtet ist. Auf diese provisorische Abdeckung, die künftig durch verschiedene Arten von Unterbau und Decke ersetzt werden soll, können 12 wärmeisolierte Hauben aufgestellt werden, die zusammen eine Fläche von  $5 \times 12$  m überdecken. Kühlschlangen in ihrem Innern strahlen Kälte gegen die Straßenoberfläche und bringen den Untergrund zum Gefrieren. Um das Fortschreiten des Frostes im Boden verfolgen zu können, werden im Boden elektrische Widerstandsthermometer eingelegt. Die Temperaturen der derzeit eingebauten 40 Thermometer können an einem eigenen Schaltpult, das im Meßhaus neben der Wanne aufgestellt ist, abgelesen, bzw. durch Sechsfarbensreiber aufgezeichnet werden. Die Hebungen der Decke werden durch seitliche Fenster in den Hauben von außen mit einem Nivellierinstrument abgelesen. Die Temperatur, die unter den Hauben erreicht werden kann, beträgt  $-20^\circ$ . Die Gesamtaufnahme (Abb.4) zeigt die Wanne mit den Hauben und die seitliche Abdeckung, die das Niederschlagswasser von der Umgebung der Hauben abhalten soll. Links im Bilde ist das Meßhaus zu sehen, in dem die Kühlanlage und die Temperaturmeßanlage untergebracht sind.

\*

Die vorstehenden Ausführungen über die Erfahrungen mit Geräten und Methoden, die sich in erster Linie auf die Straßensperrungen beziehen und deshalb für die Schweiz von geringem Interesse sind, haben aber auch noch einen anderen Wert und sind Bausteine eines größeren Programms.

So wurde bereits darauf hingewiesen, wie günstig sich der Einbau dieser Geräte auf das Interesse des Straßenaufsichtspersonals auswirkt und wie auch die Zusammenarbeit mit dem Wetterdienst das Verständnis für die Arbeit steigerte. Und gerade dieses Interesse nicht nur einzelner, sondern einer großen Anzahl von im Straßenbau Tätigen ist eine wesentliche Voraussetzung für die weitere Arbeit. Eine solche Arbeit ist notwendig, da die

Frostforschung seit einigen Jahren nur wenig vorangekommen ist. Es wurden interessante und sicher auch wertvolle Untersuchungen durchgeführt, aber sie brachten für die Praxis keine wesentlich neuen Gesichtspunkte. Es wurden immer wieder Frostschäden untersucht, und das Ergebnis bestand meist darin, daß das bestätigt wurde, was ohnehin schon bekannt war, daß zu einem Frostschaden ein frostgefährlicher Boden, Wasser und Frost gehören. Wenn ein Fortschritt erzielt werden soll, dann müssen die Straßen systematischer untersucht werden. Es müssen z. B. auch gute Straßen zum Vergleich herangezogen und gründlich aufgeschlossen werden, und vor allem darf die Statistik nicht wahllos auf einseitig herausgegriffene Fälle bezogen werden, sondern muß schon bei der Auswahl der Punkte die eine oder die andere Unbekannte, wie z. B. die Art des Bodens, das Wasser oder das Klima, unverändert lassen.

Wenn aber nach diesen Gesichtspunkten vorgegangen werden soll, dann muß die Organisation der Untersuchung geändert werden. So helfen z. B. bei der Untersuchung des Einflusses des Klimas die gesammelten meteorologischen Daten nur dann, wenn der Zusammenhang mit den in den einzelnen Wintern aufgetretenen Schäden bekannt ist. Und hier genügt es wiederum nicht, die Schäden nur im großen Durchschnitt zu verfolgen; die Schäden müssen auch in ihrem Umfang und in ihrem Verlauf beobachtet werden.

Solche Untersuchungen und Beobachtungen, die sich wie beim Klima auf wenige Wochen oder gar Tage konzentrieren, können von einzelnen nicht durchgeführt werden. Es bedarf dies einer großen Zahl von Beobachtern.

Diese zu gewinnen, ist die besondere Aufgabe, die sich die Bundesanstalt für Straßenbau gestellt hat. Neben diesen Anregungen, die Einzelheiten beim Gefrieren und Auftauen zu beobachten, dienen besonders Kurse dazu, die Kenntnisse in der Bodenmechanik zu verbreitern und die Zusammenhänge zu erläutern. Das Interesse dafür ist im allgemeinen sehr groß, und es ist zu hoffen, daß

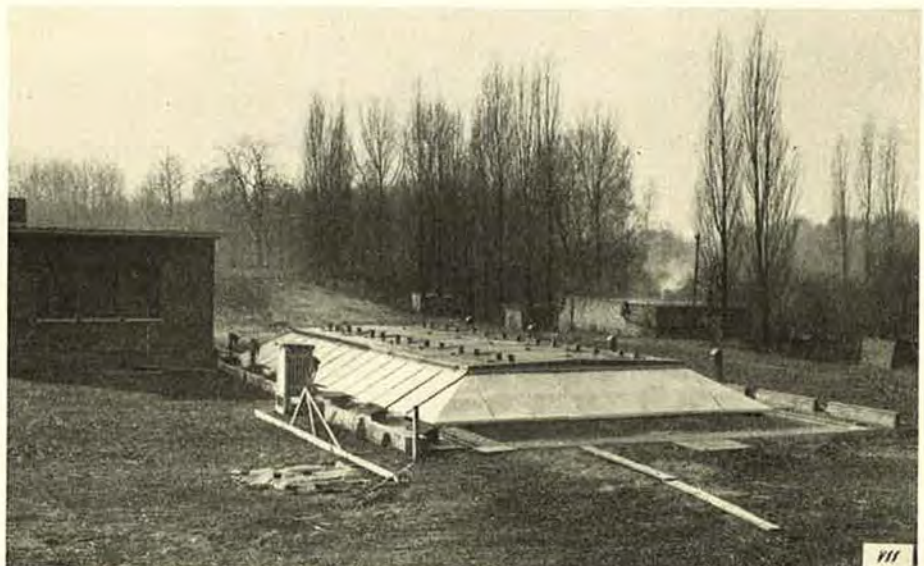


Abb.4. Frostversuchsstand mit Gefrieranlage



in den nächsten Jahren auf diese Weise ein Stamm von Beobachtern gewonnen wird, mit denen die geplante Arbeit durchgeführt werden kann.

Die gleiche Aufgabe liegt auch bei der Verdichtung und anderen Fragen des Straßenbaues vor. Auch dort ist es nicht mehr möglich, mit Einzeluntersuchungen auszukommen. Es muß auf breiter Front auf der Baustelle beobachtet und gesammelt werden.

Diese Pläne machen natürlich ein Forschen nach den tieferen Zusammenhängen des Frostproblems nicht überflüssig. Es ist genau so unentbehrlich, nur muß es als Grundlagenforschung betrieben werden, d.h. unter Einsatz aller Theorie und Erfahrung. Damit reicht dieser Teil der Forschung aber bereits über den Bereich des Ingenieurs in das Gebiet der Physik und Chemie und sollte in Zukunft in enger Zusammenarbeit mit den Fachleuten dieser Gebiete betrieben werden.

#### Literatur:

- [1] *Schaible L.*: «Einfluß des Verkehrs auf die Entstehung von Frostschäden», Straße und Tiefbau 1953, Heft 4.  
*Schaible L.*: «Über die zunehmende Gefahr der Frostschäden für unsere Verkehrswege», Bautechnik 1954, Heft 9, Seite 287.  
*Schaible L.*: «Über Beobachtungen an Frost- und Tauschäden auf Verkehrswegen». Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Heft 17, Neue Folge, Seite 35, 1955.
- [2] *Dücker A.*: «Untersuchung von Frostschäden durch Entnahme ungestörter Frostkerne». Straße und Autobahn 1953, Heft 9, Seite 288.  
*Dücker A.*: «Ist eine Straßendecke auf einem Untergrund mit einem frostkritischen Kornanteil unter 20% durch eine 30 cm starke Frostschuttschicht frostsicher gegründet?» Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Heft 17, Neue Folge, Seite 37, 1955.  
*Dücker A.*: «Gibt es eine Grenze zwischen frostsicheren und frostempfindlichen Lockergesteinen?» Straße und Autobahn 1956, Heft 3, Seite 78.
- [3] Bundesverkehrsministerium: «Beurteilung der Trag-sicherheit frostgefährdeter Straßen» (Runderlaß). Straße und Autobahn 1954, Heft 2, Seite 61.
- [4] *Eymann H.*: «Verkehrsbeschränkungen zum Schutz frostempfindlicher Straßen». Straße und Autobahn 1955, Heft 4, Seite 105.
- [5] Frostindikator. Kurzbericht. Straße und Autobahn 1954, Heft 2, Seite 58.  
*Kübler G.*: «Anzeigegenauigkeit des Frostindikators». Straße und Autobahn 1954, Heft 9, Seite 310.
- [6] Registrierende Schlagsonde. Kurzbericht. Straße und Tiefbau 1954, Heft 2, Seite 58.
- [7] Bundesanstalt für Straßenbau: «Messung der Frosthebung von Straßendecken mit dem Frostnagel». Straße und Autobahn 1956, Heft 2, Seite 59.
- [8] *Kübler G.*: «Der Wassergehalt des Bodens vor Beginn der Frostperiode 1954/55». Straße und Autobahn 1955, Heft 2, Seite 57.