

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 79 (1961)
Heft: 18

Artikel: Die Fundation von Kunsteisbahnen
Autor: Bendel, L.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-65515>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Fundation von Kunsteisbahnen

Von Dr. L. Bendel, PD Ing. S. I. A., Luzern

In verschiedenen Ländern Europas sind in den letzten Jahren zahlreiche Kunsteisbahnen gebaut worden. Nachfolgend werden die Berechnungen des Unterbaues und die Erfahrungen mit solchen Anlagen in baulicher Hinsicht beschrieben. Es zeigt sich, dass für die Berechnungen hauptsächlich das Problem der Wärmeströmung vom warmen Untergrund nach der kalten Pistenplatte massgebend ist. Dieses muss auch bei der Bestimmung der von der Kälteanlage abzuführenden Wärme gelöst werden, so dass die vorliegenden Erörterungen auch bei der Bemessung der Maschinen von Bedeutung sind. Während sich aber dort das Interesse der stationären Strömung zu Beginn des Abkühlungsvorganges zuwendet, weil alsdann die grössten Wärmeleistungen auftreten, handelt es sich bei der Bemessung des Unterbaues um die Beherrschung der Verhältnisse gegen Ende der Betriebszeit, da die Auskühlung des Untergrundes am weitesten fortgeschritten ist und einen quasi stationären Zustand erreicht hat.

I. Der Untergrund unter Kunsteisbahnen

A. Die Untersuchungen des Untergrundes

Für die Erforschung der geologischen Beschaffenheit des Untergrundes werden Schürfungen, Schlitzte, Rammsondierungen und Bohrungen zur Entnahme ungestörter Bodenproben vorgenommen. Da es sich bei Kunsteisbahnen um verhältnismässig grosse Flächen handelt, werden auch geophysikalische Methoden angewendet. Besonders bewährt hat sich das seismische Verfahren, bei welchem der Schwingungsweg, die Frequenzen, die Laufgeschwindigkeit des Erschütterungsstrahles, die Beschleunigung, der Druck und die Dehnungen des Bodens infolge Erschütterungen gemessen werden. Bei den geoelektrischen Methoden wird mit Erfolg

nicht nur Gleichstrom, sondern auch Wechselstrom verschiedener Frequenz verwendet. Das am besten geeignete Verfahren hängt von der Bodenbeschaffenheit ab und ist fallweise festzulegen [1].

B. Geologischer Aufbau des Untergrundes

Bei den geologischen Untersuchungen muss festgestellt werden, ob der Untergrund in senkrechter und waagrechter Richtung gleichmässig beschaffen sei. Insbesondere ist auf Linsen und Taschen mit frostgefährlichem Material zu achten, Bilder 2a und 2b. Die Verwitterungszonen über Felsen sind beinahe immer ungleichmässig zusammengesetzt. Wenn

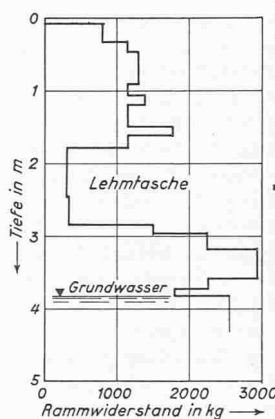


Bild 2a. Beispiel einer Rammsondierung (Kunsteisbahn Sonthofen), Durchmesser der Sonde 45 mm



Bild 2b. Die freigelegte, durch die Sondierung festgestellte Lehmtasche unter der kiesigen Oberfläche bei der Anlage Sonthofen

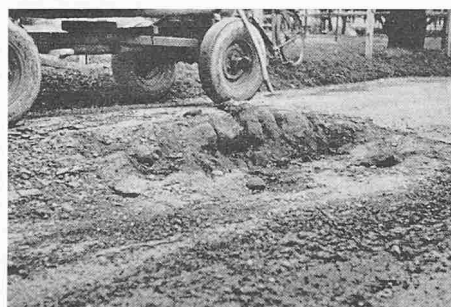


Bild 1a. Frosthebungen auf einer Strasse in Widnau im Frühjahr 1958

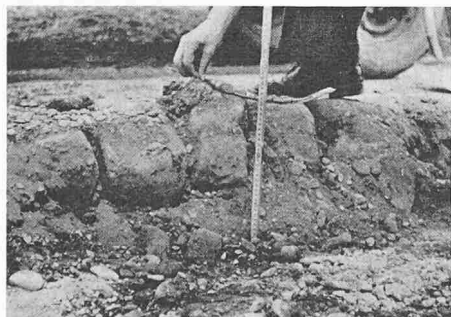


Bild 1b. Einzelheit zu Bild 1a, die Hebung betrug 31 cm



Bild 1c. Frosthebungen der Betonplatte einer Kunsteisbahn. Die Zerstörungerscheinungen am Beton sind deutlich sichtbar

ungleich grosse Hebungen des Bodens beim Gefrieren entstehen und ungleich grosse Setzungen beim Auftauen auftreten, Bilder 1a und 1b, so wird die Eisenbetonplatte stark auf Biegung beansprucht, erhält also grosse, einseitige, zusätzliche Zugkräfte. Diese bewirkten in einem Fall in den dreissiger Jahren sogar Rissbildungen in den Kühlröhren.

C. Hydrologie

Man muss sich Rechenschaft geben, ob der Boden Grundwasser führt, welchen Schwankungen der Grundwasserspiegel unterworfen ist und ob das Wasser kapillar oder osmotisch in die Frostzone unterhalb der Pistenplatte hinaufsteigen kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Wasser nicht nur von unten, sondern auch von der Seite her eindringen kann. Ferner ist mit Kondenswasserbildung in der Frostzone zu rechnen. Wenn in Feinböden kapillar gebundenes Wasser in grösserer Menge vorhanden ist, so hat der Boden als frostgefährlich zu gelten [7] *). Bei trockenem Boden kann die Betonplatte selbst auf frostgefährliches Material, in welches die Nullisotherme eindringt, gegründet werden, sofern kein Wassernachschub zu befürchten ist.

D. Physikalische Eigenschaften des Untergrundes

1. Statische und dynamische Beanspruchung des Bodens

Im allgemeinen spielt die Tragfähigkeit des Untergrundes keine grosse Rolle, weil das Gewicht der Foundation einer Kunsteisbahn samt Nutzlast von nur 500 kg/m² keine grosse Belastung des Bodens bedeutet. Immerhin ist es ratsam, bei torfigen und lehmigen Böden eine Setzungsanalyse durchzuführen. Junger Torf ist vollständig zu entfernen. In Sitten musste z.B. eine über 3,5 m starke Torfschicht entfernt werden (Bild 7). In Cortina d'Ampezzo, Villars, Montana, Moutier, Luzern usw. wurden die Pistenplatten mit dem Kühlröhrensystem auf Einzelpfeiler oder Pfähle verlegt, Bilder 6 und 8. Bei der Wahl einer Pfählung ist zu berücksichtigen, dass die Nutzlast von 500 kg/m² im Verhältnis zum Eigengewicht der Platte nicht ins Gewicht fällt. Es liegt eine dynamische Belastung mit sehr niedriger Frequenz vor. Unangenehme Setzungen sind hingegen in den Maschinengebäuden infolge dynamischer Wirkungen durch die Kältekompressoren und die Pumpen vorgekommen.

2. Thermische Eigenschaften des Bodens und des Kieskoffers

Wichtig ist die Kenntnis der thermischen Eigenschaften des gewachsenen Bodens, auf welchem die Foundation für die Kunsteisbahn aufruhrt. Es wurden Methoden entwickelt, mit denen diese an Ort und Stelle bestimmt werden können. Der Kieskoffer wird als Isolierzone zwischen der Pistenplatte und den gewachsenen Boden gelegt. Er ist so stark zu wählen, dass die Nullisotherme nicht in den frostempfindlichen Untergrund eindringen kann. Je grösser die Wärmeleitfähigkeit λ_k des Kieskoffers ist, um so stärker muss dieser ausgeführt werden. Einen guten Aufschluss über die Wärmeleitfähigkeit λ_k des Kieskoffers erhält man aus der Bestimmung seiner Luftdurchlässigkeit. Je mehr Luft vorhanden ist, um so kleiner ist sein Raumgewicht und damit auch λ_k . Umgekehrt wächst λ_k , je mehr Kontaktstellen zwischen den einzelnen Körnern vorhanden sind. λ_k ist ferner von der Granulometrie des Bodenmaterials stark abhängig. Je sandiger und lehmiger der Boden ist, um so grösser wird λ_k . Auch der mineralogische Aufbau des Kiessandes spielt eine Rolle, wie aus den λ -Werten der in Frage kommenden Gesteine hervorgeht. Diese betragen z.B. für Glimmer 0,35 kcal/mh °C, für Kalkstein (CaCO₃) 1,9 kcal/mh °C und für Quarz (SiO₂) 5,2 kcal/mh °C. Von grossem Einfluss ist der Wassergehalt des Bodens, indem λ mit diesem stark zunimmt. Der Unterschied des λ -Wertes bei Temperaturen über 0° und unter 0° hängt ebenfalls vom Wassergehalt ab. Bei trockenem Boden verschwindet er. Bei normalem Wassergehalt wird λ beim Gefrieren um etwa 20% grösser.

3. Bestimmung der Frostempfindlichkeit von Böden

Grundsätzlich ist zwischen kohärenten (Lehme, Tone) und nicht kohärenten Böden (Sand, Kies) zu unterscheiden.

*) Die Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

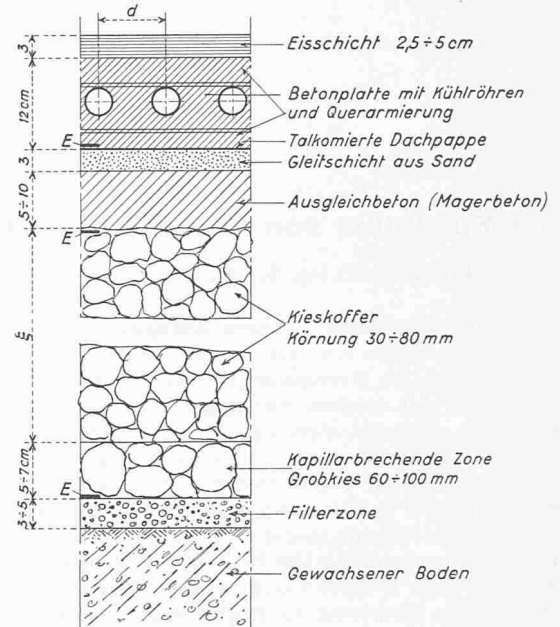


Bild 3a. Querschnitt durch die Pistenplatte neuerer Kunsteisbahnen mit Kieskoffer und Gleitschicht nach Vorschlägen des Verfassers; 1:10. Für andere Ausbildungsarten der Gleitschicht vgl. Bild 5 (Genf), Bild 6 (Villars sur Ollon) und Bild 8 (Luzern). E = elektrische Fernmelde-Thermometer

Grobe Sande und Kiese sind im allgemeinen frostsicher, da das Bodenwasser und das Bodenkorngefüge lose zusammengefröhen kann, ohne zu schwellen, und der Boden bei Frostauflang seine Tragfähigkeit beibehält. Hingegen sind Lehme, Tone, Schluffe frostempfindlich. Beim Eindringen des Frostes in dieses Material treten Hebungen auf und beim Auftauen erleiden sie eine Einbusse ihrer Tragfähigkeit. Im allgemeinen werden während des Gefrierens infolge der damit ausgelösten Saugwirkung zusätzliche Wassermengen an die Frostgrenze geschaffen. Dort kristallisiert eine Eisschicht zum Teil zusammenhängend, zum Teil in Linsenform aus. Durch die Saugwirkung kann der Wassergehalt so stark vergrössert werden, dass der Boden vollständig versuppt, d. h. seine Tragfähigkeit verliert [17], S. 24. Die Menge des durch die Saugwirkung beförderten Wassers ist weitgehend abhängig von der Durchlässigkeit des Bodens sowie vom Abstand zwischen den Eislinsen und dem Grundwasserspiegel [2].

Für die Beurteilung der Frostsicherheit eines Bodens wurden verschiedene Kriterien entwickelt. Die bekanntesten sind die granulometrischen von Kokkonen, Beskow, Taber, Morton, Kögler-Scheidig, Dücker, Jäcky, Casagrande [1], S. 433, 436, [2], S. 242, 260, 12. Kap. Gewöhnlich wird ein Boden als frostgefährlich angesehen, wenn er von ungleichmässiger Zusammensetzung ist und mehr als 3 Gew.% der Körnung unter 0,02 mm aufweist [9], S. 7. Als besonders frostempfindlich gilt ein Boden mit mächtiger Saugkraft und grossem Wassernachschub [2], S. 76, 149, 162, vgl. ferner [5], [18], S. 380/382, [6]. Für Versuche im Prüfraum vgl. [2], S. 49, [17], S. 21, [15] Bulletin 135.

Im Laboratorium werden namentlich die Granulometrie, der Plastizitätsindex (das ist der Unterschied zwischen dem Wassergehalt in Gewichtsprozenten an der Ausrollgrenze und dem an der Fliessgrenze) und die Durchlässigkeit bestimmt. Ein Boden wird als frostempfindlich angesehen, wenn die Durchlässigkeit $k = 10^{-5}$ bis 10^{-7} cm/s, unter Umständen 10^{-4} bis 10^{-8} cm/s beträgt [3], S. 438, [10]. Zur Charakterisierung der Böden durch die Laborversuche erklärt Balduzzi [16], S. 16, «dass zwischen den volumetrischen Eigenschaften der Böden bei Scherbeanspruchung, wie sie durch die Vektorkurve beschrieben werden, und ihrem Verhalten beim Eindringen des Frostes eine Beziehung besteht. Die Anwendung der Vektorkurve zur Charakterisierung eines Systemes Bo-

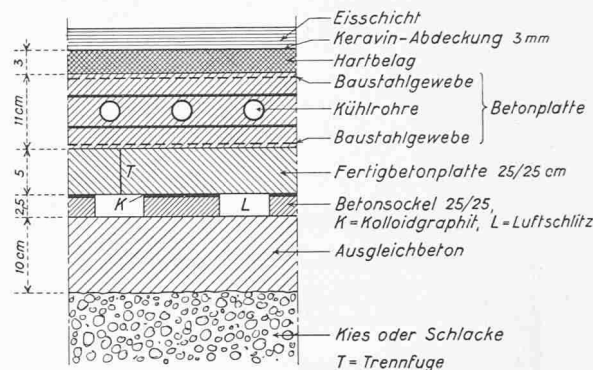
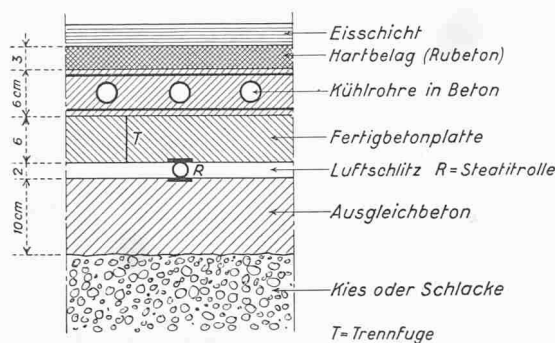


Bild 3b. Ausführungsbeispiele von älteren Kunsteisbahnen, links Berliner, rechts Dortmunder Typ. Die Keravinschicht dient als Unterlage für den Rollschuhlauf. Der Hartbelag über der Betonplatte wird namentlich bei Benützung der Piste als Rollschuhbahn ausgeführt

den/Wasser bietet gegenüber einer Kennzeichnung durch die Klassifikationseigenschaften allein entsprechende Vorteile.»

Im Felde werden mit Vorteil die Fall-, Druck-, Roll- und Schüttelprüfungen durchgeführt [9], S. 4/8. Der Boden ist sicher frostgefährlich, wenn man z. B. einen Bodenklumpen schwer oder überhaupt nicht zerdrücken kann, oder wenn beim Schütteln der Bodenprobe die Oberfläche glänzend wird, oder wenn durch Fingerdruck das Wasser verschwindet und alsdann die Oberfläche wieder ein mattes Aussehen erhält [5].

II. Erzeugung des Kunsteises

A. Das Röhrensystem

Um die Pistenplatte auf der erforderlichen niedrigen Temperatur von -8 bis -10°C zu halten, wird in sie ein System von parallelen Röhren verlegt, in welchen entweder Kühlsole fliesst oder ein Kältemittel, vorzugsweise Ammoniak, verdampft. Das auf die Platte aufgespritzte Wasser erstarrt dabei zu Eis.

Bis zum Jahre 1936 verwendete man in der Schweiz Chlorkalzium-Sole als Abkühlungsmittel. Wegen der hohen Betriebskosten wurden in den letzten Jahren fast alle neuen Kunsteisbahnen mit direkter Verdampfung ausgeführt. Sogar bestehende Bahnen mit Sole als Abkühlungsmittel wurden auf direkte Verdampfung umgebaut.

Die Röhren sind vor dem Verlegen durch Abpressen auf Dichtheit zu prüfen. Bei direkter Ammoniakverdampfung hat sich ein Abpressdruck von 150 at als zweckmässig erwiesen. Da Undichtheiten im Betrieb schwere Schäden und kostspielige Instandstellungsarbeiten verursachen, ist bei der Prüfung der Röhren äusserste Sorgfalt geboten. Der Abstand der Röhren, der nötig ist, um eine gleichmässige Eisschicht zu erhalten, ist ausprobiert. Er beträgt 80 bis 95 mm. Die dichtere Berohrung (80 mm Röhrenabstand) ist bei ununterbrochener Betriebszeit während etwa 180 Tagen anzuwenden, um den grösseren Wärmeeinfall bei wärmerem Wetter ohne Senken der Verdampfungstemperatur aufnehmen zu können. Bei einer Betriebsdauer von etwa 150 Tagen kommt man in der Regel mit 95 mm aus.

Bewährt hat sich das Verlegen von Stahlröhren in Beton. Es ist möglich, die Röhren auch in Sand zu verlegen. Sandpisten haben aber den Nachteil, dass die Stahlröhren von aussen nicht genügend geschützt sind und daher korrodieren. In einzelnen Fällen wurden zuerst in Sand verlegte Röhren nachträglich in Platten einbetoniert, so z. B. in Sitten und auch bei Eisbahnen in Schweden.

B. Kunststoffröhren

Schon seit langer Zeit wurde versucht, als Rohrmaterial statt Stahl Kunststoff zu verwenden. In den USA werden seit einigen Jahren leicht aufstellbare und demontierbare Kunsteisbahnen mit Kühlelementen aus Polyäthylen gebaut.

Der Nachteil bei Verwendung von Kunststoffen besteht darin, dass als Kühlmittel nur Sole verwendet werden kann; denn die Kunststoffröhren sind wegen ihrer geringen mechanischen Festigkeit für direkte Kältemittelverdampfung nicht brauchbar. Solekühlung ist aber, wie bereits bemerkt,

im Betrieb wesentlich teurer als direkte Verdampfung. Wegen der geringen mechanischen Festigkeit müssen Schutzvorrichtungen auf den Kühlröhren angebracht werden, damit sie von den Schlittschuhläufern oder beim Glatthobeln des Eises nicht beschädigt werden.

Die Kunststoffe, von denen hauptsächlich Polyäthylen angewendet wird, haben eine schlechte Wärmeleitfähigkeit. Polyäthylen leitet die Wärme etwa 150mal schlechter als Stahl. Daher muss bei der Verwendung von Sole mit einer tieferen Temperatur gearbeitet werden als beim Verdampfen von Ammoniak in Stahlröhren. Die zusätzliche Temperaturerniedrigung kann bis 6°C betragen. Damit sind erhöhte Anlagekosten und ein Mehrbedarf an elektrischer Energie von 20 bis 25% verbunden, was sich in einer entsprechenden Steigerung der Betriebskosten auswirkt.

Polyäthylen hat eine hohe Wärmeausdehnungszahl. Sie ist etwa 16mal grösser als diejenige von Stahl. Es ergeben sich also wesentliche Längenänderungen der Kühlröhren. In der Regel werden vorgefabrizierte Kunststoffplatten verwendet. Diese weisen Kanäle auf, die durch Stege voneinander getrennt sind. Dadurch entstehen zahlreiche, nahe beieinander liegende Hohlräume, durch welche die Kühlsole fliesst.

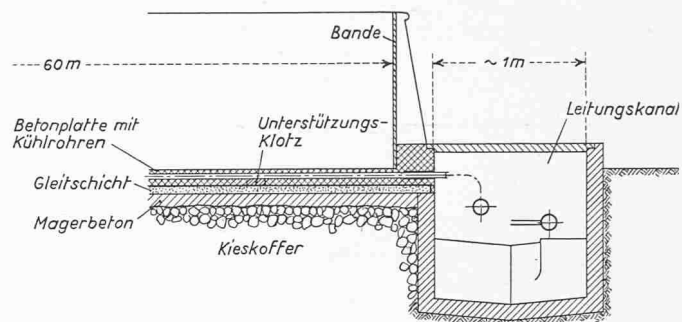
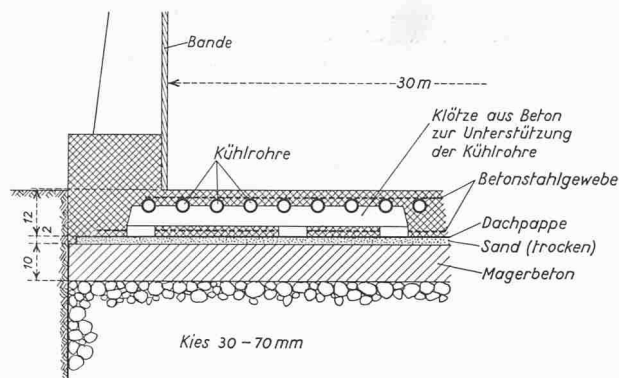
C. Künstliches Eis

Die Anforderungen an die Qualität des rd. 3 cm dicken Kunsteises sind gross. Früher wählte man die Eisdicke bis zu 6 cm. Die Eistemperatur soll -6° bis -8°C betragen. Bei niedrigeren Temperaturen wird das Eis spröde, bei höheren weich. Uebereinstimmend erklären die für die Qualität des Eises verantwortlichen Eismeister, dass bei Verwendung von Sole ein Unterschied in der Qualität besteht zwischen dem Eis, das beim Eintritt der Sole in die Kühlröhren und bei deren Austritt erzeugt wird. Die Ursache besteht in der Temperaturzunahme der Sole zwischen Eintritt und Austritt, die bis 5°C betragen kann. Bei direkter Verdampfung bleibt die Temperatur über die ganze Länge der Kühlröhren unverändert, und die Eisqualität ist überall gleich. Dies ist ein weiterer Grund, weshalb in den letzten Jahren beinahe bei allen Kunsteisbahnen direkte Verdampfung angewendet wurde. Untersuchungen mit einem transportablen Messmikroskop ergaben, dass Eis, das von den Hockeyspielern und Kunsteisläufern abgelehnt wurde, zu grobe Kristalle aufwies. Weitere Versuche zeigten, dass durch einen Sprühregen, dessen Temperatur durch Beigabe von gewärmtem Wasser geregelt wird, die gewünschte Eisqualität erzielt werden kann. Chemische Zusätze zum Wasser bewährten sich nicht. Stark kalkhaltiges Wasser ergab ein Eis, das beim Befahren einen feinen Staub hinterliess. Kunstläufer lehnen ein solches Eis strikte ab. Das Problem der Wärmeströmung von der Luft durch die Eisschicht und den Beton nach den Kühlröhren ist wenigstens andeutungsweise behandelt in [32] S. 131 bis 133.

III. Ausbildung der Plattenfundation

A. Grundsätzlicher Aufbau

Dieser ist auf den Bildern 3a und 3b dargestellt. Einen wesentlichen Teil einer Kunsteisbahn bildet die Betonplatte, in welche das Kühlrohrsystem verlegt wird. Infolge der gros-



Bilder 4a und 4b. Einzelheiten der Plattenausführung bei der Kunsteisbahn Landsberg, erstellt 1957, 1:20 bzw. 1:50. Eigentümer: Eisbahnverein Landsberg, Ersteller: Escher Wyss GmbH, Lindau, Berater: Dr. L. Bendel

sen Temperaturschwankungen ergeben sich beträchtliche Dehnungen und Verkürzungen, weshalb die Platte auf einer Gleitschicht verlegt werden muss. Die Betonplatte kann durch Pfähle unterstützt werden (Bilder 6 und 8). Diese Lösung ist teuer und wird daher nur notgedrungen gewählt. Wo dies der Fall ist, wird ein Luftpolster unter der Platte angeordnet. Beobachtungen ergaben, dass sich die Luft im Polster rasch abkühlt. Nach mehrwöchentlichem Betrieb wurde an der Bodenoberfläche eine Temperatur von rd. -5°C gemessen. Der Frost reichte 40 bis 70 cm tief. Die gefrorene Zone übt auf die Pfähle einen horizontalen Schub aus. Bei der äusseren Pfahlreihe wirkt er einseitig. Bei der Armierung der Pfähle ist hierauf Rücksicht zu nehmen. Messungen über den Temperaturverlauf in Betonpfählen, die als Kältebrücken wirken, sind im Gang.

Die Temperatur im Luftpolster kann erhöht werden, wenn die Luft unter der Bahn durch Ventilatoren in Bewegung gehalten wird. Der Luftstrom muss seine Richtung periodisch ändern, damit sich kein Eis in den Ecken bilden kann. Bei ähnlichen Problemen (z.B. Tiefkühlanlagen im Kellergeschoss von Gebäuden) ist die durchströmende Luft

mit Erfolg temperiert worden. Bei frostempfindlicher Erde ist zwischen die Betonplatte und die Erde eine frostunempfindliche Zwischenschicht zu legen. Damit diese möglichst klein wird, wählt man eine Isolierschicht.

Nachfolgend werden die verschiedenen Teile der Fundation einer Kunsteisbahn besprochen. In den Bildern 3 bis 8 sind Beispiele verschiedener Ausführungsarten von Kunsteisbahnen wiedergegeben.

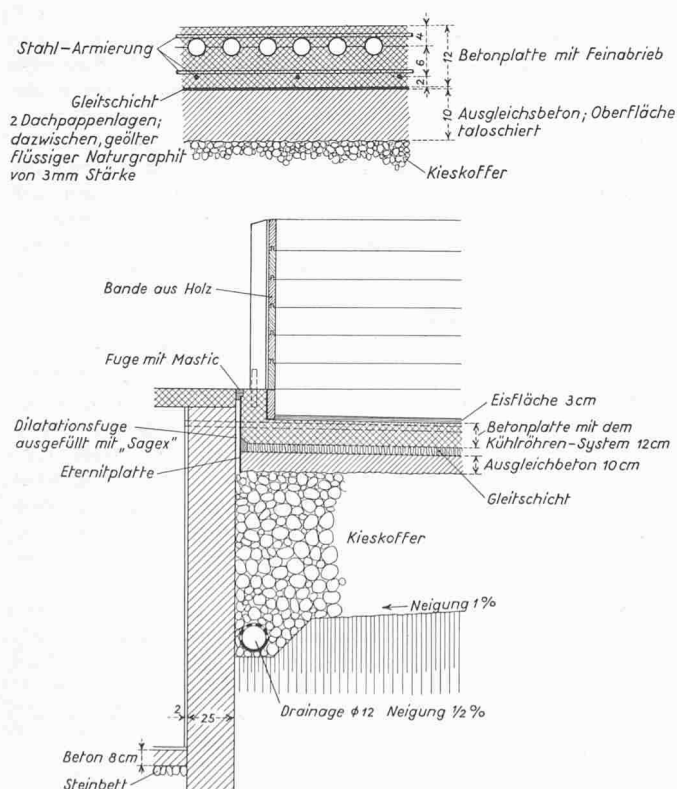
B. Die Betonplatte

Die Dicke der armierten Betonplatte, in welcher sich die Kühlrohre befinden, wählt man meist zu 10 bis 12 cm. Nach oben sollte der Beton möglichst wärmedurchlässig sein, nach unten möglichst wärmedicht. Die praktische Ausführung einer solchen Doppelschicht bietet grosse Schwierigkeiten, so dass darauf verzichtet wird. Die Ueberdeckung der Röhren soll mindestens 2 cm betragen.

Es ist zweckmässig, die Oberfläche der Platte mit einem weissen Anstrich zu versehen, um die Absorption der Wärmestrahlung durch den Beton möglichst klein zu halten. Die Farbe darf aber nicht in das Eis eindringen. Vom Anbringen von Schutzbelägen über dem Beton ist abzuraten, weil dadurch der Kältefluss gedrosselt wird.

Der Beton ist im Winter monatelang Temperaturen von etwa -10°C ausgesetzt, und im Sommer können Temperaturen bis über $+50^{\circ}\text{C}$ vorkommen. In Freiburg dehnt sich die Platte im Sommer z.B. über 7 mm aus. Damit der Beton diese Bewegungen ohne Schaden erträgt, erhält er eine besondere Armierung: eine quer unterhalb und eine quer oberhalb des Röhrensystemes. Beispielsweise zeigen die Betonplatten von Visp, Landsberg, Freiburg bis heute nach mehrjährigem Betrieb keine Schwind- oder Wärmerisse, trotzdem sie fugenlos hergestellt worden sind. Die Behandlung von Betonrissen, wie sie bei älteren Kunsteisbahnen vorkommen, ist schwierig. Meistens kommen die Risse wieder zum Vorschein, nachdem sie mit Abdichtungsmitteln behandelt worden waren. Die Stahldrahtgeflechte und die Kühlrohre werden vor dem Betonieren zweckmässig auf vorfabrizierte Betonklötzen gestellt (Bilder 14 und 15). Trotzdem der Beton keine wesentlichen statischen Aufgaben zu erfüllen hat, soll die Platte in einem ununterbrochenen Arbeitsgang betoniert werden. Auch während der Ruhepausen der Arbeiter darf mit dem Betonieren nicht ausgesetzt werden.

Zur Erhöhung der Witterungs- und Frostbeständigkeit und zur Verminderung des unerwünschten «Blutens» werden dem Beton luftporenbildende Verflüssiger zugesetzt. Durch das Bluten bildet sich an der Betonoberfläche eine Mörtelschicht, die oft abfriert. Auch ist zu berücksichtigen, dass die Kühlrohre und die Armierungseisen in Schwingungen versetzt werden, wenn der Beton mit Vibratoren verdichtet wird. Diese Schwingungen pflanzen sich fort und können die Haftung zwischen diesen Stahlteilen und dem Beton, der schon abzubinden begonnen hat, herabsetzen, u. U. die Armierung vom Beton sogar völlig lösen. Dadurch entstehen Luftkanäle längs der Armierung. Zwischen Kühlrohrsystem und Beton entsteht ein schlechter Wärmeübergang, die Korrosionsanfälligkeit der Rohre nimmt zu.



Bilder 5a und 5b. Einzelheiten der Pistenplatte bei der Kunsteisbahn Genf, erstellt 1958, 1:15 bzw. 1:40. Architekten: A. Cingria, F. Maurice, J. P. Domet, J. Duret, Genf; Ing.: P. Tremblet, Genf; Berater: Dr. L. Bendel; Ersteller: Escher Wyss AG., Zürich

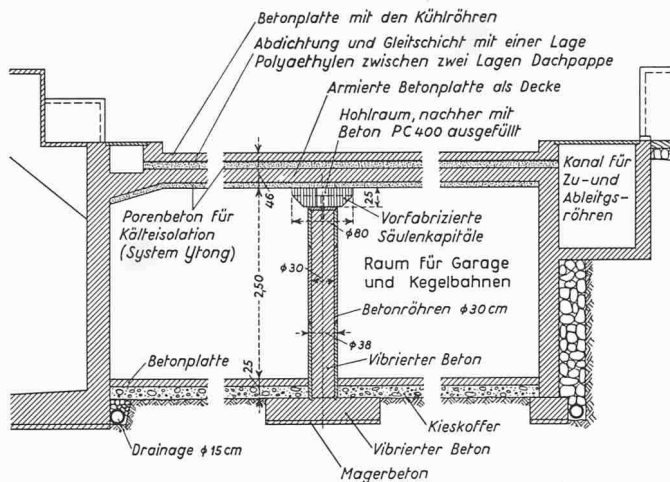


Bild 6. Kunsteisbahn Villars, erstellt 1960, Querschnitt durch die Pistenplatte, 1:100. Arch.: A. Burnat et M. Reymond, Vevey/La Tour-de-Peilz; Ing.: G. Nicollier, La Tour-de-Peilz; Berater: Dr. L. Bendel; Ersteller: Escher Wyss AG., Zürich

Um das Abbinden des Betons zu verzögern, d. h. um seine Plastizität und Verformbarkeit lange aufrecht erhalten zu können, werden verzögernd wirkende chemische Zusätze verwendet. Wie lange das Abbinden verzögert werden soll, hängt von der Art des verwendeten Verdichtungsgerätes, d. h. von dessen Frequenz und Amplituden ab, sowie von der Entfernung zwischen Erreger und Kühlröhren, die nicht schwingen sollen. Schliesslich sind auch die Granulometrie und die Mineralogie des verwendeten Kiessandes, sowie die Lufttemperatur von Einfluss auf die Quantität des zu wählenden Abbinde-Verzögerers.

Vereinzelt werden Betonplatten in vorgespanntem Beton ausgeführt [24, 25, 26, 27]. Dies erhöht die Erstellungskosten wesentlich. Die Erfahrung zeigt, dass vorgespannte Platten nicht notwendig sind, denn auch ohne Vorspannung können bei richtiger Ausführung rissfreie Platten bis über 2000 m² Grösse erstellt werden, vorausgesetzt, dass Rohre aus Stahl und nicht aus Kunststoff gewählt werden.

C. Gleitschicht

Damit die Platte die beträchtlichen Bewegungen im Sommer und im Winter ohne zu reissen ausführen kann, muss unter ihr eine Gleitschicht vorhanden sein. Diese kann verschieden ausgebildet werden. Bei den Kunsteisbahnen in Oberstdorf, Visp, Landsberg und an anderen Orten wurde zwischen die Platte und den Ausgleichsbeton eine 2–3 cm starke Quarzsandschicht gebracht und darüber eine Dachpappenschicht. Unter keinen Umständen darf kalkhaltiger oder kaolinhaltiger Sand verwendet werden, weil er bei häufigem Frost und grossen Temperaturwechseln verwittert. Auch besteht die Gefahr, dass weiche Sandkörner durch die gewaltigen Kräfte, die beim Ausdehnen und Zusammenziehen der Platte entstehen, zu Staub zerrieben werden. Dadurch, sowie durch die Verwitterung wird der Sand pappig und erfüllt seine Funktion als Gleitschicht nicht mehr. Die Schutzhülle über dem Gleitsand muss wasserundurchlässig sein. Bewährt hat sich talkumierte Bitumpappe oder eine Schicht aus Kunststoff, z. B. Polyäthylen. Der Sand darf keinen grösseren Korndurchmesser als 7 mm haben, weil sonst die Schutzhaut beschädigt würde.

In Chaux-de-Fonds wurde auch unter die Gleitschicht zwischen den Sand und den Ausgleichsbeton eine gesandete Bitumendachpappe gebracht, um zu verhindern, dass Wasser aus dem Ausgleichsbeton in den Sand gelangt. Da es sich aber nur um jene geringen Wassermengen handelt, die für das Abbinden des Ausgleichsbetons nicht benötigt werden, ist bei den später gebauten Kunsteisbahnen auf die untere Dachpappe verzichtet worden. Bei diesen konnte nirgends nasser Gleitsand festgestellt werden. Bei der Kunsteisbahn in Freiburg wurde die Gleitschicht so ausgebildet, dass verschiedene Lagen Dachpappe gewählt und mit Abfallöl, das aus einer Garage stammte, bestrichen wurden. Auch die Oberfläche

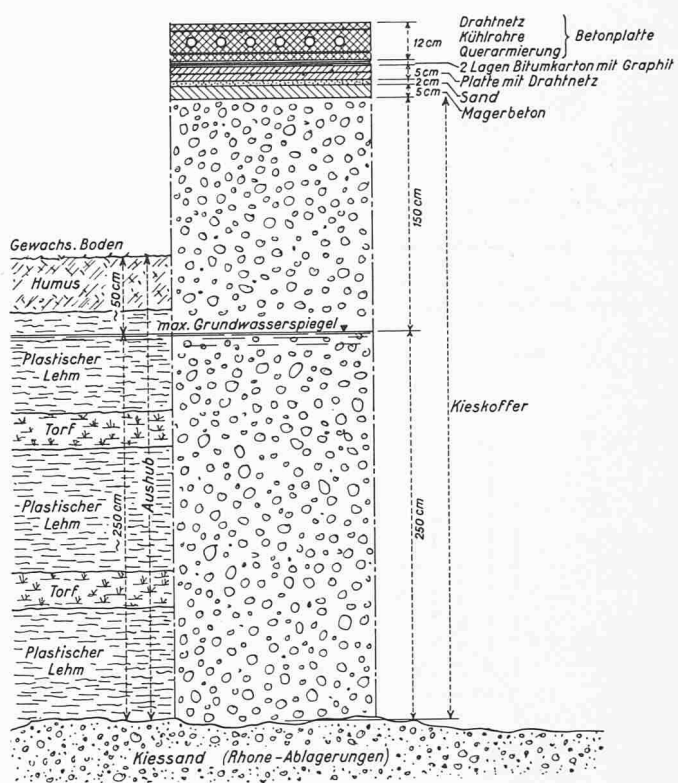


Bild 7. Pistenplatte und deren Fundation bei der Kunsteisbahn Sitten, 1:50. Bauherr: Société coopérative de la Patinoire; Projekt: H. Georges Huber, Dipl.-Ing., Sitten; Berater für Fundation: Dr. L. Bendel; Ersteller: Gebr. Sulzer AG, Winterthur

des Ausgleichbetons ist mehr oder weniger mit Oel bestrichen worden.

In Freiburg dehnt sich die Stahlbetonplatte, wie bereits erwähnt, im Sommer über 7 mm aus und zieht sich im Winter wieder zusammen, ohne dass bis jetzt Risse entstanden wären. Die berechnete Ausdehnung bei Verwendung von Polyäthylen ergab rd. 14 mm.

Die Kunsteisbahn in Genf, Bilder 5, 14, 15, hat eine Stahlbetonplatte von 2700 m² Fläche. Dort wurde die Oberseite des Ausgleichbetons mit geöltem Naturgraphit bestrichen. Auf die einige Millimeter dicke Graphitschicht wird einseitig geölte Dachpappe gebracht. Naturgraphit und synthetisch hergestellter Graphit weisen die gleichen chemischen Zusammensetzungen auf, doch sind ihre physikalischen Eigenschaften z. T. recht verschieden. Es wird empfohlen, für Kunsteisbahnen ausschliesslich Naturgraphit zu wählen.

D. Ausbildung des Ausgleichbetons

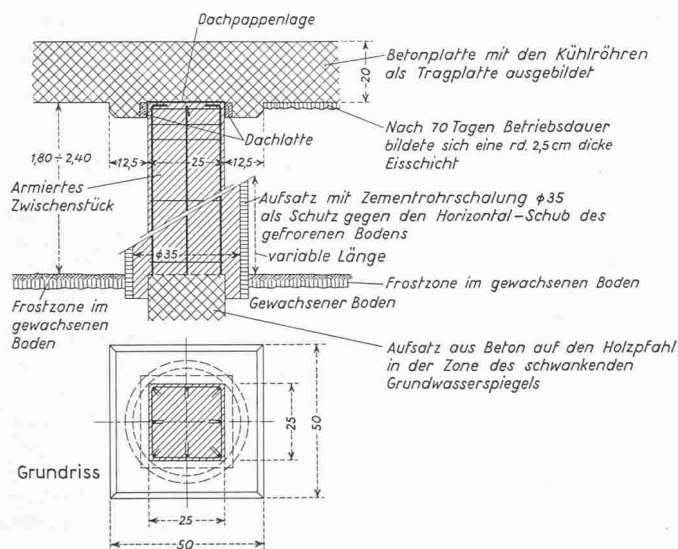
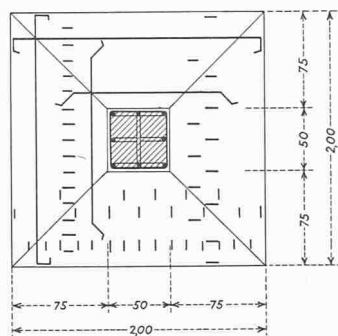
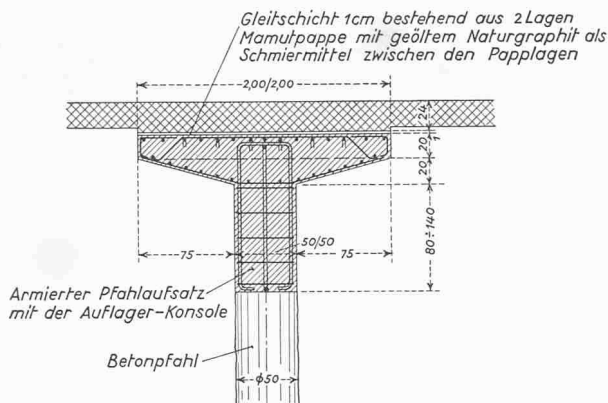
Der Ausgleichsbeton hat als Unterlage für die Gleitschicht zu dienen. Er soll möglichst wärmedicht sein. Dies wird erreicht, wenn der Beton möglichst viele mit Luft ausgefüllte Poren aufweist. Das ist z. B. der Fall, wenn der Zementgehalt nur etwa 160 kg/m³ beträgt. Ausserdem wird das Mittelkorn weggelassen (Ausfallkörnung). Damit der Beton möglichst frostsicher ist, soll er trotzdem nach 28 Tagen eine Druckfestigkeit von mehr als 220 kg/cm² aufweisen.

E. Die Isolierschicht

1. Anforderungen an den Isolierstoff

An einen Isolierstoff werden hauptsächlich folgende Anforderungen gestellt:

- Kleine Wärmeleitzahl.
- Keine merkliche Erhöhung der Wärmeleitzahl, wenn der Isolierstoff zusammengedrückt wird.
- Unempfindlichkeit gegen Wasser, sowie gegen Alkalien und die Säuren im Grundwasser.
- Beständigkeit gegen Alterung, gegen Verrottung (keine chemische Umsetzung, kein Verfaulen), sowie Beständigkeit gegen Schimmelbefall.



Bilder 8a und 8b. Ausbildung der Köpfe über Holz- und Betonpfählen bei der Kunsteisbahn Luzern, erstellt 1960, 1:60 bzw. 1:25.

- Möglichst kleine Bildung von Kondenswasser im Stoffinnern, weil dadurch die Wärmeleitzahl merklich erhöht würde.
- Die Wärmeleitzahl darf sich auch dann nicht merklich erhöhen, wenn das Kondenswasser gefriert.

2. Arten von Isolierstoffen

Als Isolierstoffe kommen in Frage: Kork, Beton mit Zusatzmitteln, Sonderbetone, synthetische Leichtstoffe, Kies. Mit Kork, der auf beiden Seiten eine Schutzschicht (Dampfsperre) gegen das Eindringen von Feuchtigkeit aufwies, wurden nur vereinzelt gute Erfahrungen gemacht. Im allgemeinen bewährte sich der Kork in der Fundation von Kunsteisbahnen nicht.

Verschiedene Arten von Beton, wie Schlackenbeton, Leichtbeton, Schaumbeton, werden als Isolierstoff selten verwendet. Bei der Wahl von Frostschutzmitteln als Zusatz zum Beton ist äusserste Vorsicht geboten. In einem Fall, bei dem ein chloridhaltiges Zusatzmittel gewählt wurde, war das

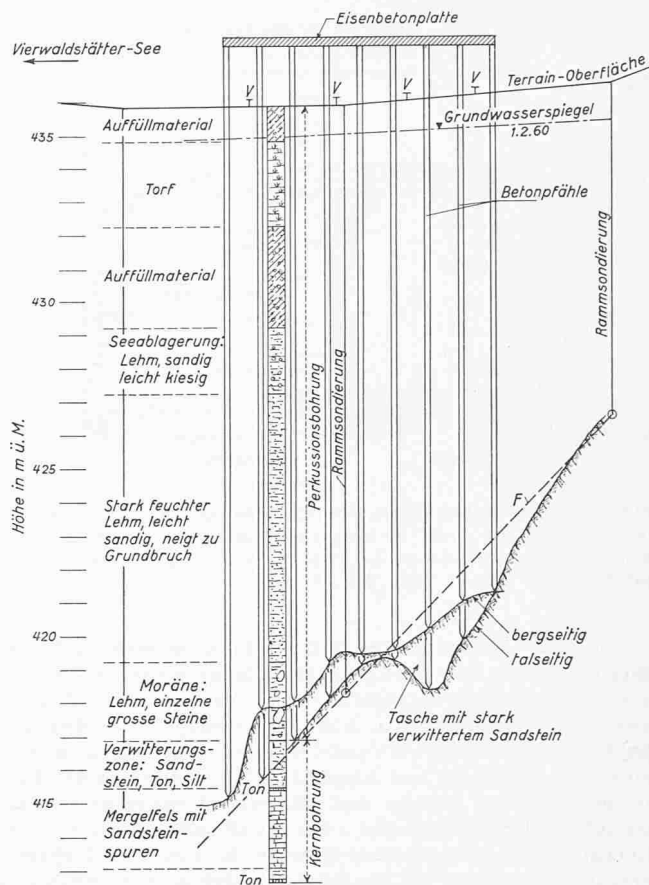


Bild 8c. Geologisch-hydrologischer Querschnitt durch die Fundation der Kunsteisbahn Luzern. V = Visurlinie; während des Pfählens bewegte sich das Gelände um rd. 5 cm seewärts. F = Felsoberfläche, wie sie auf Grund geophysikalischer Verfahren, Schlagbohrungen, Kernbohrungen und Rammsondierungen vorausbestimmt wurde.

Bauherr: Kunsteisbahn AG., Luzern; Architekt: A. u. L. Ammann-Stebler, Luzern; Ing.: E. Oberhänsli, Luzern; Berater: Dr. L. Bendel, Luzern; Ersteller: Gebr. Sulzer AG, Winterthur

Röhrensystem schon nach wenigen Jahren derart angegriffen, dass es teilweise ersetzt werden musste.

Synthetische Leichtstoffe auf der Basis von Polystyrol (Kunstharz-Schaum) oder Abarten davon, wie Algosbat, Atona, Friyolit, Poresta, Porosynth, werden in der Kälte-technik neuerdings viel verwendet. Ihre Wärmedämmwirkung ist sehr gut. Polystyrol-Schaum besteht aus etwa 2 % Polystyrol und 98 % in winzigen Zellen gekapselte Luft. Keine Lieferfirma von Polystyrol übernimmt aber bei Kunsteisbahnen die Garantie für die Beständigkeit während mehr als fünf Jahren; denn bei Kunsteisbahnen besteht die Gefahr der Verrottung. Verrottetes Polystyrol hat eine bedeutend grössere Wärmeleitfähigkeit als Kies.

3. Kies als Isolierstoff (vgl. Bilder 3a und 3b)

An einen Kies als Isolierstoff werden folgende Bedingungen gestellt: Er darf nicht frostgefährlich sein. Es dürfen keine Steine, die verwittern können, verwendet werden. Die Hohlräume zwischen den einzelnen Kieskörnern müssen so gross sein, dass das Eis, das beim Eindringen des Frostes entstehen kann, sich nach allen Richtungen ausdehnen kann. Im Hohlraum darf nur so viel Wasser gefrieren, dass der Hohlraum nicht vollständig mit Eis gefüllt ist.

Je mehr Hohlräume ein Kies aufweist, um so kleiner ist sein Raumgewicht und damit auch seine Wärmeleitzahl [2] S. 135 (Bild 64 nach Krischer). Das Raumgewicht der für die Isolationsschicht von Kunsteisbahnen verwendeten Kiese betrug 1600 bis 1800 kg/m³. Diese Kiese wiesen einen niedrigen Wassergehalt von 1,5 bis 3 Gew. % auf. Ihre Wärmeleitzahl liegt zwischen 0,3 und 0,5 kcal/mh°C. Daraus ergibt sich, dass der Kies, der für den Koffer verwendet wird, ein möglichst kleines Raumgewicht aufweisen soll. Eis ent-

Tabelle 1. Gleichwertige Kiesschichtdicken s bei einer Isolierstärke von 1 cm.

Isolierstoff	λ kcal/m h °C	s cm
Kies	0,45	1
Luft (ruhend)	0,02	22
Kork	0,04	11
Kieselgur	0,06	7,5
Polystyrol	0,07	6,5
Leichtbeton	0,2	2,25
Kiesbeton	0,8 ÷ 1,2	0,55 ÷ 0,35
Eis	1,9 ÷ 2,0	0,22

Quellen: [15] Bull. 135 S. 126, [23] S. 505, [27]

steht z. B., wenn die in den Hohlräumen des Kieses vorhandene Luft warm und feucht ist, sich beim Abkühlen Wasser ausscheidet und beim Eindringen des Frostes das Wasser gefriert.

Damit viele und grosse Hohlräume vorhanden sind, muss der Kies granulometrisch richtig aufgebaut sein. Er soll z. B. möglichst wenig Sand enthalten und möglichst gleichkörnig sein. Bewährt hat sich z. B. eine Körnung von 50/70 bis 60/120 mm oder eine Ausfallkörnung, bei der das Mittelkorn fehlt. Als Beispiel seien gewisse Kiessande aus der Gegend von Zürich erwähnt, die ein Raumgewicht von 1920 kg/m³ aufweisen. Wenn das Feinmaterial beim Laborversuch entfernt wird, sinkt das Raumgewicht auf 1650 kg/m³ und die Wärmeleitzahl von rd. 0,9 auf 0,5 kcal/mh °C. Dabei betrug der Wassergehalt 2 bis 3 %.

Für die Bestimmung der Wärmeleitzahl des Kieses stehen verschiedene Tabellenwerke zur Verfügung. Sie weichen aber erheblich voneinander ab¹⁾. In amerikanischen Tabellenwerken wird für Feinsand mit wenig Wassergehalt angegeben $\lambda_k = 0,55$ bis 0,7 kcal/mh °C [15], Bulletin 135. Nach deutschen Tabellen gilt für Kies mit wenig Wassergehalt $\lambda_k = 0,3$ bis 0,5 kcal/mh °C. In schwedischen Werken findet man für Kies $\lambda_k = 0,32$ bis 0,36 kcal/mh °C [1], S. 322 und S. 134. Bei der Kunsteisbahn Dolder in Zürich wurde für den Kieskoffer ein Wärmeleitungskoeffizient von 0,45 kcal/mh °C angenommen, der sich in der Praxis als richtig erwiesen hat.

Die unterste Schicht des Kieskoffers wird so ausgebildet, dass aus dem Boden kein Wassernachschub stattfinden kann, dass sie also kapillARBrechend wirkt. Sie wird zweckmässig in ein leichtes Gefälle verlegt, damit sie als Drainage wirken kann, Bilder 3a und 5b. Besteht der gewachsene Boden, auf den der Kieskoffer aufgebracht wird, aus weichem, stark zusammenrückbarem Material, so wird unter den Koffer eine rd. 5 bis 10 cm starke Filtersandschicht gebracht, damit die lehmigen Teile nicht in den Kies eindringen können.

Der Kieskoffer darf nicht verdichtet werden, denn er hat keine grossen statischen Kräfte von der Kiesfläche ins Erdreich zu übertragen. Die Hauptsache ist, dass seine Wärmeleitfähigkeit klein sei. Durch das künstliche Verdichten würde diese aber merklich erhöht.

4. Wirtschaftlichkeit der Isolierstoffe

Um die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Isolierstoffe bestimmen zu können, müssen die Kosten von 1 cm des gewählten Isolierstoffes, fertig eingebracht, berechnet werden. Das Ergebnis ist mit den Kosten einer Kiesschicht gleicher

¹⁾ Vgl. die Angaben von Krischer in [2] S. 135 für den λ -Wert in Abhängigkeit des Raumgewichts und des Wassergehaltes.

Dämmwirkung zu vergleichen. In Tabelle 1 sind für verschiedene Isolierstoffe die gleichwertigen Kiesschichtdicken s angegeben.

Beispiel: Wenn eine 1 cm starke Korkplatte je m² Fläche 4 Fr. kostet, so dürfen 11 cm Kies ebenfalls 4 Fr. kosten, damit die Gesteungskosten gleich hoch sind. In Zürich belaufen sich die Kosten pro m³ fertig eingebrachten Kies auf rd. 20 Fr. In diesem Fall kosten 11 cm Kies nur 2,20 Fr. Das heisst, dass die 11 cm starke Kiesschicht die gleiche Dämmwirkung hervorbringt wie 1 cm Kork, aber 1,8 Fr. weniger kostet. Aus diesem Grunde wurde Kies für die Isolationszone gewählt (vgl. Anmerkung zu Beispiel 4, Kap. V). Die Kosten für den Aushub und Abtransport der Erde sind bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung selbstverständlich mitzuberücksichtigen.

Schluss folgt

Vorfabrizierte Schalen

Kongressbericht aus Dresden

DK 624.074.4:69.002.22

Vom 13. bis 18. März wurde in Dresden ein Kolloquium abgehalten, das von der «International Association for Shell Structures» organisiert war und die Vorfabrikation in der Schalenbauweise zum Thema hatte. Von den weit über 100 Teilnehmern waren 22 Beiträge eingereicht worden. Dazu hat man während den drei Sitzungstagen noch fast ebenso viele Referate diskutiert. Die beiden letzten Tage waren Baustellenbesichtigungen gewidmet.

Der Besuch dieses Kolloquiums bot einen anregenden Ueberblick. Obwohl im gegenwärtigen Zeitpunkt die Entwicklung noch in vollem Gang ist und in den verschiedenen Ländern oft eigene Richtungen einschlägt, lassen sich zwei Grundtendenzen deutlich erkennen: a) Eigentliche vorfabrizierte Schalenbauten; die Montageelemente allein haben eine geringe eigene Grösse und Tragfähigkeit im Vergleich zum fertigen Bauwerk; erst nach der Montage wird die neue, räumliche Tragwirkung durch Vorspannung oder normalen Fugenschluss eingeleitet. b) Vorfabrizierte Bauten, bei denen die schalenartigen Einzelteile nach der Montage kein wesentlich neues Tragsystem bilden. Diese «Fertigschalen» erinnern oft an Plattenbalken, bei denen die sehr dünne Druckplatte zur Aussteifung in einer oder zwei Richtungen gekrümmt ist. Der Fugenschluss geschieht bei diesen «Fertigschalen» aus praktischen Ueberlegungen: Abdichtung, Isolierung, Aussteifung aus Stabilitätsgründen, Aufnahme gewisser Zusatzbelastungen, usw.

Diese *Fertigschalen* haben sich in verschiedenen Ländern zu einer gewissen Reife entwickelt, wie beachtenswerte Beiträge aus den USA, Russland, Ostdeutschland und England zeigten. Als Beispiel sei hier das V-Dach der Firma Costain Ltd., England, herausgegriffen (Bild 1). Der grundlegende Gedanke besteht darin, zwei dünne, vorgespannte und vorfabrizierte Platten durch eine normale, nachträglich vorgespannte Betonfuge zu einem V-Träger zu verbinden, der das Montageelement bildet. Besonders hervorzuheben ist die grosse Anpassungsfähigkeit dieser Bauweise an die speziellen

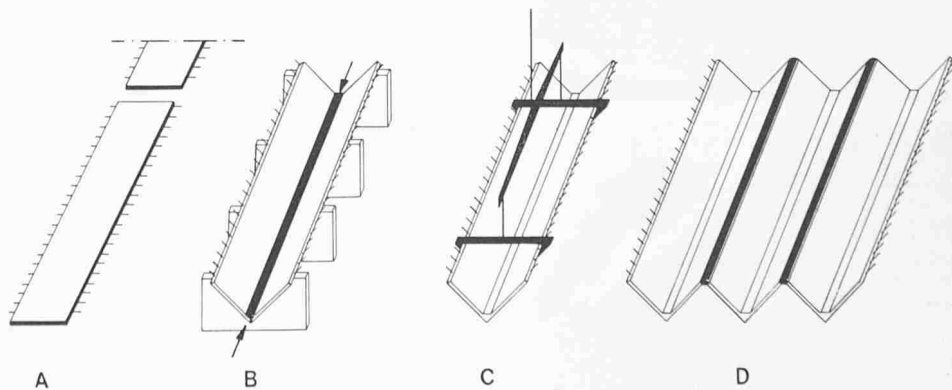


Bild 1. V-Dach der Firma Costain Ltd. — A Vorfabrikation im Spannbett. Querarmierung beidseitig vorstehend. Transport mit Versteifungsträger. — B Armieren, Betonieren und wenn nötig Vorspannen der Fuge. — C Montage. Gewichte bis etwa 30 t. — Betonieren der oberen Fuge nach dem Versetzen. Spannweiten bis etwa 40 m