

GLÜCKAUF

Berg- und Hüttenmännische Zeitschrift

77. Jahrgang

21. Juni 1941

Heft 25

Die Widerstandsfähigkeit der Frostwand beim Schachtabteufen nach dem Gefrierverfahren und ihr Einfluß auf den Schachtausbau.

Von Dipl.-Ing. Adalbert Jonas, Düsseldorf.

Der Gefrierschachtbau.

Das Gefrierverfahren wird zum Schachtabteufen seit Jahrzehnten in immer vollkommenerem und sicherem Maße angewandt. Schächte aller Durchmesser bis 11 m und bis zu Teufen von 500 und 600 m sind ausgeführt worden. Selbst Anlagen, die bis zu 700 m tief gefroren werden müssen, werden schon geplant.

Nachdem die Theorie und die praktische Erfahrung feststehende Tatsachen über die Grundsätze des Gefrierverfahrens geschaffen haben, erfolgt das Abteufen nach Richtlinien, die allgemein bekannt, als Voraussetzung für die nachstehenden Ausführungen angesehen werden. Aufgabe dieser Arbeit ist es, die Grundlage des Gefrierschachtbaues neu zu umreißen, damit für alle in der Praxis auftretenden Fragen der sichere Unterbau vorhanden ist, sei es bei der Planung eines Gefrierschachtbaues, wo es um das Gelingen der Abteufarbeiten überhaupt und um die Sicherheit der Belegschaft geht, sei es in Fragen des Gefrierschachtausbaues, wo z. B. die Einwirkungen des Frostes auf den Ausbaustoff Beton von Wichtigkeit sind, oder seien es gar die Überlegungen über die Ursachen der Zusammenbrüche von Gefrierschächten sowie über das Verhalten des Gefrierschachtausbaues beim Auftauen. Alle diese Fragen und andere mehr erfordern, daß man von klaren Erkenntnissen über die Grundlage des Gefrierschachtbaues, nämlich die Frostwand, ausgeht. Hierüber besteht nach mannigfachen Äußerungen in Wort und Schrift noch Unklarheit, und manche abgeleitete Schlußfolgerung bleibt fraglich.

Theoretische Untersuchungen der letzten zwei Jahrzehnte und Erfahrungen geben über die Eigenschaften der Frostwand Aufschluß, und zwar sowohl über ihre Festigkeit auf Grund der Kälteverteilung in der Frostwand als auch ihre Auswirkungen als Frost ausstrahlender Körper.

Die Frostwand hat die Aufgabe, während des Abteufens die Rolle des Schachtausbaues zu übernehmen und die Sicherheit der Arbeiten zu gewährleisten. Damit ihre Widerstandsfähigkeit ausreicht, ist eine gewisse Dicke erforderlich. Diese gilt es zu berechnen.

Die innere Begrenzung der Frostwand wird gegeben durch den Schachtstoß, d. h. durch die Aushubfläche, die ihrerseits auch von der Stärke des künftigen Ausbaues abhängig ist. Dieser wiederum richtet sich in seinem Aufbau und in seiner Stärke nach der Teufe des Schachtes und dessen nutzbarem Durchmesser. Weiterhin ist es wesentlich, welche Gebirgsarten der Schacht zu durchteufen hat, denn sie bestimmen nicht nur die Ausbaustärke mit, sondern ihre Wärmeeigenschaften üben auch auf die Bemessung der Frostwand selbst einen Einfluß aus. Erst nach Festlegung dieser Grundlagen kann an die eigentliche Bemessung einer Frostwand herangetreten werden.

Die Planung der Frostwand.

Der Aushubdurchmesser
als Grundlage der Frostwandberechnung.

Anforderungen an den Schachtausbau.

Die zunächst zu lösende Frage besteht darin, festzustellen, welcher Ausbau unter den verschiedenen Umständen gewählt werden soll, da man hierdurch den Aushubdurchmesser als Ausgangsmaß für die Berechnung der Frostwand erhält.

Folgende Ausbauarten können in Betracht gezogen werden:

1. Mauerwerk,
2. einfache Tübbingsäule mit Anschlußbeton,
3. doppelte Tübbingsäule mit Zwischen- und Anschlußbeton,
4. einfache Tübbingsäule mit Eisenbeton,
5. Eisenbeton.

Die Entscheidung, welche Bauart zu wählen ist, findet nach statischen, abteuftechnischen und durch den Frost gegebenen Gesichtspunkten statt. Während den beiden erstgenannten stets Rechnung getragen worden ist, sind die Beziehungen zwischen Schachtausbau und Frostwand in mannigfacher Hinsicht unbeachtet geblieben. Das Ergebnis dieser Arbeit wird deren Bedeutung aufzeigen und klarlegen.

Der Schachtausbau muß, um den statischen Anforderungen zu genügen, mit der Teufe einmal dem zunehmenden Wasserdruck standhalten, bei schwimmendem Gebirge auch dem Erddruck, weiterhin hat er diese Sicherheit auf die Dauer zu bewahren, was weitgehend nur durch seine Korrosionsfestigkeit erreicht werden kann.

Alle diese Bedingungen stellt das zu durchteufende Deckgebirge. Für die folgenden Betrachtungen sollen diejenigen Gebirgsschichten nicht in Betracht gezogen werden, die als standfest anzusehen sind. Hierzu gehören z. B. Schichten der Kreide, die harten Konglomerate des Buntsandsteins usw. Ihnen gegenüber stehen die lockeren Gesteinschichten des Quartärs und Tertiärs, ferner mehr oder weniger wasserführende Sande aller Formationen. Tritt zu losen, reinen und feinen Sanden Wasser in solchen Mengen hinzu, daß die Kapillarkraft des Sandes es nicht mehr zu binden vermag, so werden diese Schichten »schwimmend« und dadurch die Anforderungen an den Schachtausbau und an die Frostwand sehr gesteigert.

Zu dem Wasserdruck in seiner vollen Höhe, den man aus der Teufe H m nach der bekannten Formel $\frac{H}{10}$ kg/cm² errechnet, tritt noch der Erddruck hinzu, der in der Rechnung dadurch berücksichtigt wird, daß man den Wasserdruck durch Vervielfachen mit einem Wert bis 0,7 erhöht, je nachdem wie es die innere Reibung bedingt, ob der Erddruck klein oder groß ist. Dieser Zuschlag von 0,3, 0,5 oder sogar 0,7 entstammt der Erfahrung, nach der

bei der Herstellung von Schacht- und Tiefbohrungen eine Bohrtrübe mit dem spezifischen Gewichte 1,3; 1,5 bis 1,7 genügt, um die Wandung der Bohrung aufrecht zu erhalten und ihr Zusammenstürzen zu vermeiden. Diese genannten Werte für den spezifischen Druck sind auch bei der Berechnung der Mächtigkeit der Frostwand zugrunde gelegt worden.

Das Wasser ist weiterhin die Ursache der Korrosion. Das Deckgebirge enthält Salzhorizonte oder doch salzhaltige Schichten, die den Gebirgswässern den Charakter einer Sole von mehr oder weniger starker Anreicherung geben können. Es ist daher einleuchtend, daß solche Wasser unter Umständen Einfluß auf die Frostwand haben und daß dieser bei deren Bemessung berücksichtigt werden muß.

Die Ergebnisse der Untersuchungen des »Tübbingausschusses«.

Die angeführte Formel setzt voraus, daß das Gebirge in Ruhe ist. Gestörtes Gebirge und im Laufe des Abbaubestanden und bestehen teilweise heute noch verschiedene stehen, die Sonderbeanspruchungen des Ausbaues hervorgerufen. Diese Sonderkräfte sind Biegungs-, Druck- und Knickungskräfte, deren Ausmaße nur angenommen werden können.

Über die Zweckmäßigkeit dieses oder jenes Ausbaues bestanden und bestehen teilweise heute noch verschiedene Auffassungen. Die folgenden kurzen Ausführungen über den Stand des Urteils weiter Fachkreise hinsichtlich des nach statischen Gesichtspunkten besten Ausbaues, wie er auch für die Bemessung der inneren Frostwandbegrenzung gewählt wird, gestatten außerdem den Nachweis, daß der durch die Frostwand bedingte Schachtausbau mit dem statisch wertvollsten Ausbau übereinstimmt.

Für die hier in Betracht gezogenen Teufen und Gebirgsarten kommt Mauerwerk nicht in Frage. Die Teufe, bis zu der Mauerwerk verwendet werden kann, ist wegen der verhältnismäßig geringen Festigkeit der hierfür zu verwendenden Baustoffe und ihrer Wasserdurchlässigkeit und somit aus Gründen der Schachtsicherheit beschränkt.

Wo das Mauerwerk versagt, treten das Eisen und der Beton in den genannten Formen beherrschend auf. Die wissenschaftliche Erörterung in breiterer Form über die Richtigkeit der Ausbauten aus diesen Baustoffen nach statischen Gesetzen begann, als einige Schächte, wie Franz Haniel und Auguste Victoria, zusammenbrachen. Der von der Bergbehörde im Jahre 1928 eingesetzte Ausschuß¹, der die Ursache der Zusammenbrüche untersuchte, kam zu Ergebnissen, die nach den neuesten auf statischer Rechnung beruhenden Erkenntnissen nicht mehr voll aufrechterhalten werden können, aber doch noch verschiedentlich angezogen werden.

Der »Tübbingausschuß« beurteilte die Ausbauten:
Einfachsäule mit reinem Anschlußbeton,
Einfachsäule mit Eisenbeton,
Doppelsäule mit Zwischen- und Anschlußbeton.

Die Wahl der Ausbauten nach Güte, Zuverlässigkeit usw. soll danach nur die Berücksichtigung folgender Punkte erfordern:

1. Aufbau und Gliederung der Tübbingsäule an sich,
2. Beschaffenheit des Betons,
3. Einbau nach technischen Gesichtspunkten,

für die der Tübbingausschuß unter Beachtung der Grenzteufe von 300 m zwischen Einfachsäule mit Beton einerseits und der Einfachsäule mit Eisenbeton sowie der Doppelsäule andererseits Richtlinien gibt. Dabei ist die Fassung der kennzeichnenden Eigenschaften, nach denen die Ausbauten wertmäßig unterteilt werden, nach den damaligen Erkenntnissen und Erfahrungen allgemein durchgeführt. Die Unsicherheit der Beurteilung geht daraus hervor, daß der

Tübbingausschuß »glaubte«, die von ihm in Betracht gezogenen Ausbauten würden den Schachtbeanspruchungen genügen. Er kommt infolgedessen auch zu dem Schluß, daß die Einfachsäule mit Eisenbeton der Doppelsäule gleichwertig ist; dies ist jedoch eine Ansicht, die nicht mehr aufrechterhalten werden kann.

Die Schachtbautechnik hat in der Zwischenzeit manche Schritte unternommen, um die praktischen oder gefühlten Erkenntnisse wissenschaftlich zu untermauern. Dadurch können in der Bewertung der Ausbauten die Maßstäbe schärfer angelegt werden. Der Tübbingausschuß war seinerzeit noch nicht in der Lage, diese Verhältnisse zu überschauen, so daß er nur zu der Entscheidung kommen konnte, diese oder jene Ausbauten als gleichwertig zu empfehlen.

Domkes Untersuchungen.

Eingehend mit diesen Fragen beschäftigte sich Professor Domke¹, Aachen, dessen grundlegende Untersuchungen Klarheit in diesen Fragenbereich brachten und es dem Schachtbau ermöglichten, den statisch besonders günstigen Ausbau zu wählen.

Domke legt seinen Berechnungen für Eisen die üblichen Festigkeitswerte für Zug, Druck usw. zugrunde, die im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter betrachtet zu werden brauchen. Für Beton wird eine Druckfestigkeit von 300 kg/cm² gefordert, wobei er auch den übrigen Beanspruchungen auf Zug-, Haftfestigkeit usw. genügt. Ob dieser Wert, der von Bedeutung ist, bei den besonderen Verhältnissen im Gefrierschachtbau Gültigkeit hat und bewahrt, wird noch gezeigt.

Bei den Berechnungen geht Domke von der schwierigen Stellung aus, in die der Schachtausbau geraten kann. Die einfache Art der Ausbauberechnung nimmt nur einen im Zustande der Ruhe gleichmäßig von allen Seiten auf die eiserner Schachtröhre wirkenden Druck an. Es galt aber, in die Berechnung die im Laufe der Zeit eintretenden einseitigen Beanspruchungen einzubeziehen. Dieser zusätzliche einseitig wirkende Druck wird von Domke in Verhältnis gebracht zu dem Gesamtdruck der Teufe und in die Rechnung eingeführt. Das Verhältnis nennt er den Ungleichförmigkeitsgrad, der ein Gradmesser für statisch gleichwertige Ausbauten wird.

Außer durch diese Größe wird die Güte des Schachtausbaues von der Knicksicherheit bestimmt. Im allgemeinen ist unter Knicken das Ausweichen eines in seinen beiden Enden eingespannten freien Stabes anzusehen, der in seiner Längsrichtung eine zu große Belastung aufnimmt. Bei der Schachtsäule ist dies nicht in diesem Sinne aufzufassen. Die Spannungen, die ein Zusammendrücken ähnlich dem Ausweichen des eingespannten Stabes hervorgerufen, sind hier Druckspannungen, die gleichmäßig auf den äußeren Mantel der Schachtröhre wirken. Der Druck muß von dem Baustoff des Schachtausbaues aufgenommen werden. Übersteigen diese Drücke die Aufnahmefähigkeit des Ausbaues, so werden Einbeulungen entstehen, die die Zerstörungen des Ausbaues hervorrufen.

Für die Ausbauten, einfache Tübbingsäule mit Beton, Einfachsäule mit Eisenbeton, Doppelsäule mit Zwischen- und Anschlußbeton, hat Domke die statischen Grundlagen errechnet. Die von ihm mitgeteilten Ergebnisse sind richtungweisend für den Schachtbau geworden.

Von Bedeutung ist, daß der Beton im Gegensatz zu früheren Anschauungen als wesentlich wirksamer Bestandteil des Ausbaues anzusehen ist. Er ist nicht als eine lose Schale um den Tübbing zu betrachten, sondern er wirkt mit und bildet mit dem Tübbing einen festen Verband. Um diesen Verband zu verstärken und die Haftfähigkeit zu vergrößern, werden senkrechte und waagrechte Rippen an den Tübbingen vorgesehen.

¹ Schlattmann: Bericht des Tübbingausschusses, Z. Berg-, Hütt- u. Sal.-Wes. 78 (1930) S. B. 221.

¹ Marbach: Schachtbeanspruchung und Schachtausbau, Glückauf 70 (1934) S. 321.

Die größte Knicksicherheit und den größten Ungleichförmigkeitsgrad hat der statisch wertvollste Ausbau: die Doppelsäule mit Zwischen- und Anschlußbeton. Tübbinge mit Beton oder mit Eisenbeton sind nach den Berechnungen zwar praktisch gleichwertig; wie die nachstehenden Ausführungen erkennen lassen, ist aber der Tübbingsäule mit Beton der Vorzug zu geben, wodurch der langwierige Meinungsstreit über die Gleichwertigkeit von Tübbingausbau mit reinem Beton und Ausbauweisen mit oder aus Eisenbeton entschieden sein dürfte.

Der Schachtausbau und seine Korrosionsfestigkeit.

Zunächst ist zu bemerken, daß der durch Gebirgskräfte zerstörte Eisenbeton nicht mehr instandsetzungsfähig ist. Weiterhin erzeugen Gebirgsbewegungen Risse im Beton, der sich infolgedessen mit Wasser sättigt. Da der Beton auch nicht wasserdicht hergestellt werden kann, tritt eine Zerstörung des eingelagerten Eisens durch das Wasser ein. Diese Korrosionsfähigkeit¹ schaltet den Eisenbeton als Schachtausbau aus, denn seine statische Sicherheit geht früher oder später verloren. Das Fortschreiten des Bergbaus in Gegenden mit wasserreichem Deckgebirge erfordert einen Schachtausbau, der den chemischen Angriffen des Wassers standhält.

Weitere Ursachen der Zerstörung des Eisens sind die Wechselwirkungen von Luft und Wasser sowie elektrolytische Vorgänge. Letztere sind möglich zwischen verschiedenen Eisensorten, in diesem Falle also zwischen dem Gußeisen des Tübbings, das widerstandsfähig ist, und der rostenden Eisenbewehrung des Betons aus Flußeisen.

Beim Ausbau mit Eisenbeton führt die Volumenvergrößerung des rostenden Eisens zum Abplatzen ganzer Schalen, und selbst in Verbindung mit Tübbingen wird der zerstörte Eisenbeton den statischen Anforderungen nicht mehr gerecht.

Diesen zerstörenden Angriffen der Korrosion ist der Gußtübbing nicht ausgesetzt. Ausbau aus gußeisernen Tübbingen bleibt Jahrzehnte unversehrt, wie mancher vor 60 und mehr Jahren eingebrachte Tübbingausbau noch zeigt. Der Widerstand des Eisens gegen Korrosion soll² in der Zusammensetzung der beim Gusse entstehenden Gußhaut begründet sein. Das flüssige Eisen geht mit dem Sand der Gußform eine Reaktion ein, und die sich dadurch bildende Eisensilikathaut ist der Korrosion gegenüber besonders widerstandsfähig.

In großen Zeiträumen gesehen, fällt aber jeder Stoff der Zerstörung durch die Korrosion anheim, der eine schneller, der andere langsamer. Es ist daher notwendig, auch einen Blick auf den zweiten Bestandteil des Tübbingausbaues, den Beton, selbst zu werfen, wie er sich dem Einfluß aggressiver Wasser gegenüber verhält und wie somit seine Widerstandskraft im Verhältnis zum Graugußtübbing steht.

Auch beim Beton ist das Wasser der angreifende Teil. Fachkreise glauben durch besondere Zusammensetzung des Betons hohe Wasserdichtigkeit zu erzielen und damit das Übel zu beschränken. Diese Bestrebungen sind zwar anzuerkennen, aber die Praxis lehrt doch das Gegenteil. Die beim Abbindevorgang entstehenden Schwundrisse sind nicht zu vermeiden, Bewegungen im Gebirge führen zu weiteren Ribbildungen. Auch die natürliche Porosität des Betons macht es auf die Dauer unmöglich, »Wasserdichtigkeit« zu erzielen. Wasserdichtigkeit in dieser Zielrichtung läßt sich beim Schachtausbau nur im Tübbing durch seine Bleidichtung erreichen.

Ein Angriff auf den Beton kann nur auf die Dauer wirksam sein, wenn das Wasser fließt, d. h. wenn es sich stetig erneuert. Im Beton ist das vorhandene Kalkhydrat löslich, das mitgeführt und im Zusammentreffen mit der Luft in Karbonat übergeht. Kalkarme Zemente sind also für den Schachtbeton vorzuziehen. Dabei ergibt sich in der

Wahl eine Übereinstimmung mit denjenigen Zementen, die wärmetechnisch hinsichtlich der Rückwirkungen auf den Kälteinhalt der Frostwand und umgekehrt der Frostwand auf die Abbindefähigkeit des Betons und seine Festigkeit auch am günstigsten sind. Portlandzement ist abzulehnen, während Eisenportland- und Hochofenzement sehr geeignet sind. Die wärmetechnischen Beziehungen bezüglich des hochwertigen Tonerdezementes werden später noch aufgezeigt.

Tübbingsäule, Schachtteufe und Aushubdurchmesser.

Nach dem über das Eisen und den Beton Gesagten ist die erste Wahl des Schachtausbaues einfach. In statischer und stofflicher Hinsicht vereinigt der Tübbingausbau mit reinem Beton die besten Gesichtspunkte für sich. Somit bleibt diese Bauart in zwei Formen, der Einfachsäule mit starker Betonhinterfüllung sowie der Doppelsäule mit Zwischen- und Anschlußbeton, die Bauart für den Gefrierschacht.

Zu erörtern bleibt nur noch, wo die Einfach- und wo die Doppelsäule einzusetzen ist. Die Grenzteufe für beide Arten dürfte durch gußtechnische Gründe gegeben sein. Es ist in der neuzeitlichen Gießertechnik zwar möglich, Tübbinggußstücke mit Wandstärken zu gießen, die vor zwei bis drei Jahrzehnten nicht für möglich gehalten wurden, jedoch geht man auch heute noch nicht gerne über Wandstärken von 130–140 mm hinaus. Auf diese Weise ist es möglich, bei standfestem Gebirge Schächte bis zu 500 m Teufe mit Einfachsäule und Beton auszukleiden, während bei schwimmendem Gebirge die Grenze, von der ab die Doppelsäule vorzuziehen sein wird bzw. notwendig ist, zwischen 170 und 300 m liegt, je nach der sich aus den vorliegenden Verhältnissen ergebenden Rechnung.

Mit diesen Überlegungen sind nun nach bisheriger Anschauung die Grundlagen für die Wahl des Ausbaues und seine Bemessung nach Gebirgsart und Teufe gegeben. Der Aushubdurchmesser kann festgelegt werden, und der Bemessung der Frostwandstärke steht nichts im Wege.

Die folgenden Ausführungen werden jedoch erkennen lassen, daß die Wahl nach den genannten Bedingungen allein nicht ausreichend ist. Die Eigenart der Frostwand erfordert in größeren Teufen von 300 m, 500 m oder mehr je nach den Gebirgsverhältnissen unbedingt den Einsatz der Doppelsäule wegen ihrer großen Sicherheit bei kleinstem Aushub, ein weiterer Gesichtspunkt, der sich aus den Festigkeitsbedingungen der Frostwand ergibt und wie sich erweisen wird, von ausschlaggebender Bedeutung für die Wahl des Ausbaues ist.

Der Ausbau in reinem Eisenbeton ist daher auch wegen seiner übergroßen Stärke undenkbar. Nach Domke hat er bei 500 m eine um 2,1mal größere Ausbaustärke gegenüber der Doppelsäule. Damit scheidet der Eisenbeton als Bauart aus, selbst wenn seine Befürworter die Anfalligkeit durch die Korrosion nicht anerkennen wollen.

Die Stärke der Frostwand.

Zur Bestimmung der Mächtigkeit der Frostwand sind zwei Wege möglich, und zwar der Versuch und die Rechnung. Das Studium dieser Frage ergab, daß beide Wege bereits beschränkt worden sind und daß die Ergebnisse der zu verschiedenen Zeiten und an anderen Orten durchgeführten Untersuchungen weitgehend übereinstimmen.

Nur zeigte es sich, daß die letzten Folgerungen für den Gefrierschachtausbau nicht gezogen worden sind, da ein auch durch den Versuch gefundenes Gesetz, wonach die Bruchfestigkeit gefrorener lockerer Massen von deren Temperatur abhängt, nicht berücksichtigt worden ist.

Weiterhin bestehen über die Zeitdauer der Entwicklung einer Frostwand nur ungenügende Beobachtungen der Praxis. Die durch Temperaturmessungen erkannten Grenzen der Frostwandbildung konnten Zufallswerte sein. Es galt daher weiterhin, die Struktur der Frostwand theoretisch zu klären. Auch hierüber bestehen Grundlagen, die

¹ Marbach: Schachtschäden durch Korrosion; Glückauf 67 (1931) S. 161.

² Marbach, a. a. O. 1931.

für die Frostwand ausgewertet werden sollen. Die Ergebnisse liefern im Zusammenhang mit den erwähnten Untersuchungen ein Bild, das von den bisherigen Anschauungen wesentlich verschieden ist.

Temperatur und Festigkeit gefrorener lockerer Massen.

Als Grundlage aller Betrachtungen und Rechnungen ist die Festigkeit der gefrorenen Massen anzusehen. Dabei stößt man auf Schwierigkeiten, weil die Druckfestigkeit von Schwimmsanden, Tonen oder Braunkohle sowie deren allgemeines Verhalten im Frost nicht so genau erforscht ist wie die der Werkstoffe.

Tone und Braunkohlen als Bestandteile des Deckgebirges spielen neben den lockeren Sanden deshalb eine besondere Rolle, weil sie infolge ihrer Wärmeeigenschaften schwer gefrieren.

Bei den Versuchen von Grün¹ im Laboratorium für Zementforschung in Düsseldorf wurde die »Eisfestigkeit« lockerer, nasser Sandmassen bei -10°C zu rd. 100 kg/cm^2 ermittelt, während Gaber² in Karlsruhe bei entsprechenden Versuchen bei -20°C die Eisfestigkeit zu rd. 200 kg/cm^2 feststellte. Es wird zwar eingewendet, daß Laboratoriumsversuche den Nachteil haben, mit künstlichem Gebirge zu arbeiten, denn auch der Schwimmsand hat durch seine natürliche Ablagerung und natürliches Wachstum eine Eigenfestigkeit. Der Frostprozeß führt aber, wie die Beobachtungen beweisen, zu einer Auflockerung. Die durch Versuche gefundenen Werte können daher bei Berechnungen verwandt werden, ohne die Sicherheit der Berechnung zu gefährden.

Die Bruchfestigkeit toniger Schichten im gefrorenen Zustande ist wesentlich geringer als die des Schwimmsandes. Sie beträgt nach Rogge³ bei -15°C 72 kg/cm^2 für reinen Ton, für sandigen Ton bei -15°C 90 kg/cm^2 . Nach Heise⁴ ist die Druckfestigkeit von reinem Ton bei -8°C mit 37 bis 38 kg/cm^2 festgestellt worden. Weitere Werte bei tieferen Temperaturen sind mir nicht bekannt geworden, jedoch ist aus dem Vorliegenden zu schließen, daß diejenigen bei -20°C und noch tieferen Temperaturen weit unter denen für gefrorenen Schwimmsand liegen dürften.

Die Versuche von Beeringen.

Das Problem der Frostwandstärke hat schon in der ersten Zeit des Gefrierfahrens manchen Forscher zu Versuchen angeregt. Den Ergebnissen dieser haften aber mancherlei Mängel an infolge nicht einwandfreier Durchführung der Versuche und Ableitung fehlerhafter Formeln. Es erübrigt sich daher deren Besprechung im einzelnen.

Von grundsätzlicher Bedeutung sind jedoch Versuchsergebnisse anlässlich des Abteufens der Schachtanlage Beeringen in Belgien, deren Wert heutzutage beachtet, vielleicht gar nicht mehr bekannt ist⁵. Bei der Durchteufung mußte in etwa 620 m Teufe eine 14 m mächtige Schicht Schwimmsand durchörtert werden. Da man sich im unklaren war, wie in solcher Teufe die Frostwandbeanspruchungen sind, auch die vorhandenen Formeln Riesenmächtigkeiten für die notwendige Frostwandangaben, entschloß man sich, selbst Versuche durchzuführen. Ein eiserner Zylinder von 600 mm Dmr. diente als Gefäß. In dessen Innern befand sich ein Bleizylinder mit 3 mm Wandstärke, der oben und unten durch einen Ring eingespannt war. Innerhalb dieses Zylinders wieder bestand die Möglichkeit, einen Schwimmsandzylinder einzubringen,

der nach oben durch einen Schlußring ähnlich einem Tübbingring abgeschlossen wurde. Die ganze Einrichtung konnte durch zu- und abfließende Kältelauge wie beim Schachtgefrierverfahren der Kälte ausgesetzt werden. Durch Einpressen von Druckwasser zwischen dem Eisen- und Bleizylinder wurde der gefrorene Schwimmsandzylinder unter Druck gesetzt. Bei sinnreicher Übertragung der »Frostwandbewegungen« durch Hebel konnte man an Skalen die Einbuchtung der »Frostwand« beobachten und somit Rückschlüsse auf ihr Verhalten ziehen, da die Vorgänge in der Natur im großen im Verhältnis zum Versuch im kleinen vor sich gehen.

Die Versuche ergaben

1. daß gefrorener Schwimmsand unter Druck plastisch wird,
2. daß die Stärke der Wirkung der Plastizität auch von der Zeitdauer der Druckeinwirkung abhängt,
3. daß für die Bemessung der Frostwandstärke die bekannten Größen für die Festigkeitsrechnung allein nicht maßgebend sind,
4. daß die Formänderung der Frostmauer außerdem abhängig ist von der freien Höhe der ohne Ausbau stehenden Frostmauer.

Die nachstehende Zusammenstellung zeigt auf natürliche Schachtgröße umgerechnete Versuchsergebnisse, die bemerkenswert sind.

Zahlentafel 1.

Nr.	Versuchsmaterial	Temperatur °C	Belastung at	Stärke der Frostmauer bei 8 m Ausb.-durchm. m	Freie Höhe der Frostmauer m
1	8 % Ton	- 10,6	7	1,440	13,700
2		- 10,6	16	1,460	3,450
3	65 % Sand	- 10,6	31	1,500	0,936
4		- 10,6	32	3,700	2,660
5	27 % Wasser (gesättigt)	- 10,6	40	3,700	1,330
6		- 20,0	60	3,800	1,330
7	65 % Sand	- 20,0	60	3,780	1,145
8		- 25,0	70	3,780	1,145
9	35 % Ton (m. Wasser gesättigt)	- 34,0	90	3,780	1,145

Man ersieht daraus, daß erhebliche Frostwandstärken mit sehr niedriger Durchschnittstemperatur nötig sein würden, wenn hohe Sätze von wie üblich 35–40 m während des Abteufens ohne Ausbau stehen bleiben sollen. Frostwandstärken von mehr als 4 m mit Durchschnittstemperaturen bis -25°C oder gar -35°C lassen sich unter normalen Gefrierbedingungen nicht herstellen. Nur besondere Umstände rechtfertigen den für diese Temperaturen notwendigen Aufwand, wie z. B. auf Beeringen oder bei Gefrierschachtplanungen über 500 m Teufe hinaus oder bei Überwindung von Salzlaugen.

Die statischen Berechnungen von Domke.

Domke¹ hat sich ebenfalls, und zwar bereits 1915, mit dem Problem der statisch richtig bemessenen Frostwandstärke beschäftigt. Er hat Wege gewiesen und Formeln entwickelt, die auch die Plastizität des Eises bzw. gefrorener, wasserreicher Gebirgsschichten berücksichtigen. Er weist nach, daß die Grundlagen der Formel von Lamé für die Berechnung von starkwandigen Rohren

$$a = \frac{b}{\sqrt{1 - \frac{2p}{k}}}$$

auch für die Frostwandberechnung Gültigkeit haben. In der Formel errechnet sich der Außenhalbmesser a der Frostwand aus dem Innenhalbmesser b sowie dem Außendruck p und der Bruchspannung k . In dieser Fassung führt sie aber nicht zum Ziele, weil selbst, wenn die

¹ Grün: Untersuchungen über den Abbindeverlauf und die Erhärtung von Beton in Gefrierschichten. Mitteilung aus dem Forschungsinstitut der Hüttenzementindustrie Nr. 96, Düsseldorf.

² Gaber und Hoeflgen: Untersuchungen über Guß- und Stampfbeton in Gefrierschichten, Glückauf 69 (1933) S. 305.

³ Rogge: Das Gefrierverfahren, Zentralbl. Bauverwaltung, 1915, S. 11.

⁴ Heise: Das Verhalten von Tonschichten in Gefrierschichten, Bergbau 42 (1929) S. 603; Neue Versuche über das Verhalten von Tonschichten in Gefrierschichten, Bergbau 43 (1930) S. 693.

⁵ Sauvestres: Traversée dans le creusement de deux puits d'une assise de sables bouillants soumise à une pression de 63 atmosphères, Ann. Mines Belg. 21 (1920) S. 46.

¹ Domke: Über die Beanspruchung der Frostmauer beim Schacht-abteufen nach dem Gefrierverfahren, Glückauf 51 (1915) S. 1139.

zulässige Spannung bis zur Bruchfestigkeit K zugelassen wird, bei geringen Teufen mächtige Frostwandstärken notwendig sind, und wenn p den halben Wert von K erreicht, ist schon unendlich ist.

Nichtsdestoweniger bleiben die Grundlagen der Lamé'schen Formel gültig; sie müssen nur nach einer Seite hin erweitert werden. Domke sieht in der Plastizität des gefrorenen lockeren Gebirges den Grund, warum es möglich ist, eine Frostwand bei gewöhnlichen Stärken durch höheren Druck, als der Druckfestigkeit entspricht, zu belasten. Denn jedes Material, das unter allseitigen Druck kommt, wird schließlich plastisch, wenn an zwei Seiten geringerer Druck als an den übrigen Seiten herrscht.

Als bekannte Kräfte beanspruchen die Frostwand

1. das Gewicht der über einen Querschnitt befindlichen Frostwand mit

$$P = \gamma \cdot H,$$

wobei γ das Gewicht in kg/m^3 , H die Teufe in m ist, und

2. der auf der Zylinderwand wirkende Normaldruck p , der bekannte Ausdruck

$$p = \frac{H}{10} \cdot 1,3 \text{ (bis } 1,7) \text{ kg/cm}^2$$

ist.

Als Voraussetzung gilt $p < P$.

In der Frostwand wirken auf einem Teilchen durch diese Kräfte drei Hauptspannungen

1. von oben die Spannung σ_z ,
2. radial die Spannung σ_r , die von ihrem Höchstwert p außen auf 0 an der Innenwand sinkt, und
3. tangential die Spannung σ_t .

Auf Grund der Plastizität tritt das Fließen, also Störung der Gleichgewichtslage, bei plastischen Stoffen dadurch ein, daß die größte Schubspannung ihre Schub- oder Gleitfestigkeit überschreitet. Unter Einbeziehung dieser Bedingung entwickelt Domke mit den statischen Grundlagen zur Errechnung von Rohrwandungen Formeln für die Frostwandstärke, die auch für hohe Belastungen endliche, d. h. praktisch ausführbare Werte ergeben. Dies ist aber nur möglich, wenn man für den inneren Teil der Frostwand ein Fließen zuläßt.

Die Frostwand zerfällt also in zwei Zonen, deren Breite so bestimmt wird, daß der überwiegende Teil, die äußere Zone, starr ist und der innere Teil sich im Fließzustand befindet. Wird mit p_1 der Druck bezeichnet, bei dem der gesamte Frostkörper starr ist, und mit p_2 der Druck, bei dem die gesamte Frostmauer fließt, dann gibt es einen Druck p_m , bei dem die Frostwand noch die genügende Standfestigkeit hat. Wenn p also den Wert p_2 überschreitet, ist Gleichgewicht nicht mehr vorhanden.

Unter der weiteren Annahme, die sich als günstig erweist, daß die Teilung der Frostwand durch das geometrische Mittel der beiden Halbmesser, Innen- und Außenhalbmesser, gleich \sqrt{ab} erfolgt, lauten die Gleichungen für die Gleichgewichtsbedingung der Frostwand:

$$\frac{p_1}{K} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right)$$

$$\frac{p_2}{K} = \ln \frac{a}{b}$$

$$\frac{p_m}{K} = \frac{1}{2} \ln \frac{a}{b} + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{b}{a} \right)$$

Da die abgeleiteten Formeln für den praktischen Gebrauch etwas umständlich zu handhaben sind, gibt Domke eine vereinfachte Formel an. Diese ist gültig unter der Voraussetzung, daß $p < P < K$.

Innerhalb dieses Bereiches wird die Frostwandstärke niemals größer als der doppelte Innenhalbmesser, eine, wie man sieht, für die Praxis sehr weit gesteckte Grenze; denn es bedeutet, daß z. B. bei einem Aushubhalbmesser von $4 m$ die Frostwandstärke $8 m$ betragen kann.

Die Formel lautet dann als Näherungsformel

$$\frac{S}{b} = 0,29 \left(\frac{P}{K} \right) + 2,30 \left(\frac{P}{K} \right)^2$$

S = Frostwandstärke in m ,

p = Außendruck in kg/cm^2 ,

K = Bruchfestigkeit in kg/cm^2 ,

b = Innenhalbmesser des Aushubs in m .

Nach dieser Formel wurden die Rechnungen über die Frostwandstärke durchgeführt, wobei als Druckfestigkeit die von Gaber und Grün gefundenen Werte zugrunde gelegt wurden. Es sind dies die Werte $K = 100 \text{ kg/cm}^2$ bei -10°C und $K = 200 \text{ kg/cm}^2$ bei -20°C .

Die Berechnung erfolgte für $500 m$ Teufe; die Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Formel lautet in diesem Falle

$$p \begin{cases} = 65 \text{ kg/cm}^2 \\ = 75 \text{ kg/cm}^2 < P = 100 \text{ kg/cm}^2 = K = 100 \text{ kg/cm}^2 \\ = 85 \text{ kg/cm}^2 < K = 200 \text{ kg/cm}^2 \end{cases}$$

P wurde errechnet aus

$$H \cdot \gamma = 500 m \cdot 2000 \text{ kg/m}^3 = 100 \text{ kg/cm}^2.$$

Die Berechnungen für $K = 100 \text{ kg/cm}^2$ konnten nach der Voraussetzung nicht streng gültig sein, jedoch wurde weiterhin festgestellt, daß die Werte für S bei $K = 200 \text{ kg/cm}^2$ nach der Näherungsformel zu klein waren, wie sich bei der Nachprüfung durch die genauere Rechnung erwies.

Domke entwickelt aus den drei Hauptgleichungen unter Einsatz der Frostwandstärke $S = a \cdot b$ folgende Zahlentafel:

$$\frac{S}{b} = 0,5 \quad 1,0 \quad 1,5 \quad 2,0$$

$$\frac{a}{b} = 1,5 \quad 2,0 \quad 2,5 \quad 3,0$$

$$\frac{p_1}{K} = 0,28 \quad 0,37 \quad 0,42 \quad 0,44$$

$$\frac{p_m}{K} = 0,33 \quad 0,60 \quad 0,76 \quad 0,88$$

$$\frac{p_2}{K} = 0,41 \quad 0,69 \quad 0,92 \quad 1,10$$

Mit Hilfe dieser Zahlentafel wurden die Werte für die Frostwandstärken ermittelt, wie sie in der folgenden Aufstellung zusammengefaßt sind.

Zahlentafel 2.

Ausbauart	Aushubdurchmesser m	Gefrierkreisdurchmesser m	Innere Frostwand S m	Frostwand S errechnet bei					
				p = 65		p = 75		p = 85	
				100	200	100	200	100	200
kg/cm ²		kg/cm ²		kg/cm ²		kg/cm ²			
Doppelsäule . .	8,0	13,5	2,75	4,6	2,0	6,0	2,3	7,6	2,7
Einfachsäule mit Eisenbeton . .	9,5	15,0	2,75	5,5	2,4	7,12	2,7	9,0	3,2
Eisenbeton . .	10,0	15,5	2,75	5,75	2,5	7,5	2,85	9,5	3,4

Dabei erfahren die Domkeschen Berechnungen schachtbautechnisch eine Begrenzung. Die Bruchfestigkeit gefrorener Massen ist eine Funktion der Temperatur! Die Ableitungen Domkes gelten infolgedessen nur für den Teil der Frostmauer zwischen Gefrierkreis und Schachtröhre, denn nur in diesem Teil der Frostwand kommen die Temperaturen bis auf einen kleinen Unterschied zum Ausgleich, was bisher nicht beachtet worden ist. Dieser Teil der Frostwand wird als »innere Frostwand« bezeichnet.

Aus den Ergebnissen geht hervor, daß schon bei einem Aushubdurchmesser von $8 m$ und einer Durchschnittstemperatur von -10°C (d. h. 100 kg/cm^2 Bruchfestigkeit) eine Mächtigkeit der »inneren Frostwand« von $4,6 m$ notwendig sein würde. Bei Eisenbetonausbauten mit dem Aushubdurchmesser von $10 m$ müßte die »innere Frostwand« $5,75 m$ und bei einem Druck p von 85 kg/cm^2 sogar $9,5 m$

erreichen. Bei $K=200 \text{ kg/cm}^2$, d. h. bei -20°C Durchschnittstemperatur sind die Wandstärken 2 bis 3,4 m.

Wenn man diese beiden Ergebnisreihen der Versuche von Beerigen und der Berechnung nach Domke miteinander vergleicht, so gelangt man zu Schlußfolgerungen, die die Auffassung über die Frostwandstärke und ihre Festigkeit klarer werden lassen.

1. Die »freie Höhe« muß so gering wie möglich gehalten werden, da bei den üblichen Stärken der inneren und äußeren Frostwand und deren unterschiedlicher Temperatur von einer »Sicherheit« gegen Bruch nicht die Rede sein kann.
2. Die Ergebnisse von Beerigen verlangen in größeren Teufen — etwa ab 300 m — entweder große Frostwandstärken oder hohe Festigkeiten, die nur durch tiefe Temperaturen erreicht werden können.

In dieser letzten Bedingung decken sich die Versuchsergebnisse von Beerigen mit den Berechnungen Domkes, Durchschnittstemperaturen von -10°C genügen nicht, selbst nicht für einen Schacht mit einem Aushub, der für eine Doppelsäule berechnet ist. Die »inneren Frostwandstärken«, die nach den üblichen Formeln phantastische Werte erreichen, sind auch nach der von Domke bei -10°C noch sehr groß: 4,6 bis 6 m. Die Tatsachen zwingen also dazu, mindestens bis zu Temperaturen von -20°C zu gehen, um in etwa eine Sicherheit gegen Bruch der Frostsäule zu erzielen.

Frostmauern erreichen zwar größere Mächtigkeiten, als hier zugrunde gelegt werden. Bei der Beurteilung der Frostwandstärke ist aber zu berücksichtigen, daß der nach außerhalb des Gefrierkreises fallende Teil, die »äußere Frostwand«, niemals auf eine Durchschnittstemperatur von -20°C gebracht werden kann; da außerhalb des Gefrierkreises die Temperatur vom Niedrigstwert bis auf $\pm 0^\circ \text{C}$ steigt.

Bei Laugetemperaturen von -25°C am Schachteintritt werden bei normalem Aushub nach einem Jahre im Schacht Stoßtemperaturen von -16°C gemessen. Eine Durchschnittstemperatur von -20°C in einer Mächtigkeit von 5 bis 6 m gibt es unter den jetzigen praktischen Gefrierschachtbedingungen nicht.

Zusammengefaßt bedeuten diese Schlußfolgerungen die Notwendigkeit kleinsten Aushubes. Die Überlegungen geben eben der Doppelsäule den Vorzug vor dem Eisenbetonausbau.

Frostfortschritt und Temperaturverlauf in der Erde.

Die beiden erörterten Untersuchungen sind nie ausgewertet worden und daher in der Anwendung ohne die letzten Folgerungen geblieben. Ähnliches gilt für die allgemeinen Betrachtungen des Schachtausbaues sowie hinsichtlich des Betons und seines Verhaltens im Frost.

Vor einer endgültigen Entscheidung ist demnach die theoretische Klärung der Frostwandstruktur durchzuführen. Die folgenden Berechnungen zeigen den Aufbau einer Frostwand; Temperatur und Festigkeit liegen in ihrer Höhe und Größe fest.

Das Vordringen des Frostes in der Erde ist ein physikalischer Vorgang, der mathematisch erfaßt werden kann. Man wird dem entgegenhalten, daß die Bedingungen des Gebirges, seine Bodenbeschaffenheit nach der geologischen Zusammensetzung, sein Wassergehalt und das Verhalten der Wasserhorizonte, also die chemische Zusammensetzung des Wassers, sein Fließen usw. unmöglich eine mathematische Erfassung gestatten, jedoch hat die theoretische Erkenntnis den Wert, daß sie sich mit höchster Wahrscheinlichkeit der Natur nähert. Das physikalische Gesetz des Wärmeflusses zwischen zwei Wärmepolen kann nicht ausgelöscht werden. Die Rechnung zeigt auch, daß man der Wirklichkeit sehr nahe kommt und daß man in der Lage ist, an Hand praktischer Messungen nach diesen theoretischen Berechnungen die Wirklichkeit zu erkennen.

Die Lösung der Aufgabe stammt aus dem Gebiete der mathematischen Physik. Hinsichtlich ihrer Ableitung¹ sei auf das Fachschrifttum verwiesen. Die Aufgabe lautet:

Die feuchte Erde mit der Temperatur t_1 wird einer konstanten Kälteeinwirkung unter der Temperatur t_2 ausgesetzt. Welche Tiefe erreicht der Frost nach einer bestimmten Zeit, in der die Frostgrenze mit $t_0 = 0^\circ \text{C}$ in die Erde fortschreitet? Wie ist der Temperaturverlauf?

Die Formel heißt

$$\xi = q \cdot \sqrt{Z}$$

Sie gibt an, in welcher Zeit Z die Frostteufe ξ erreicht wird.

Bestimmung von q_0 .

Diese sehr einfache Formel enthält den Faktor q , der auf Grund einer sehr verwickelten Beziehung festgelegt werden muß:

$$Q_0 \cdot \gamma_{1,2} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot q = b_1(t_0 - t_1) \frac{e^{-\frac{q^2}{4a_1}}}{G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_1}}\right)} + b_2(t_2 - t_0) \frac{e^{-\frac{q^2}{4a_2}}}{1 - G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_2}}\right)}$$

Die genannten Größen bedeuten:

- Q_0 = Wärmemenge in kcal, der Gewichtseinheit kg des feuchten Gebirges zu entziehen,
- $\gamma_{1,2}$ = spez. Gewicht in kg/m^3 des gefrorenen (1), bzw. des ungefrorenen (2) Gebirges,
- $\lambda_{1,2}$ = Wärmeleitfähigkeit $\text{kcal/m.h.}^\circ \text{C}$,
- $c_{1,2}$ = spez. Wärme $\text{kcal/kg}^\circ \text{C}$,
- $b_{1,2} = \sqrt{\lambda_{1,2} \cdot c_{1,2} \cdot \gamma_{1,2}}$,
- $a_{1,2} = \frac{\lambda_{1,2}}{c_{1,2} \cdot \gamma_{1,2}}$,

$G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_{1,2}}}\right)$ = Gaußsches Fehlerintegral für $y = \frac{q}{\sqrt{4a_{1,2}}}$,

$$G(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y e^{-y^2} dy,$$

- t_0 = Frosttemperatur 0°C ,
- t_1 = Minus-Temperatur $^\circ \text{C}$,
- t_2 = Gebirgstemperatur $^\circ \text{C}$.

In der genannten Formel sind demnach die Größen enthalten, die den Wärmevergange beeinflussen. Im einzelnen sei dazu bemerkt:

Q_0 : die Wärmemenge, die entzogen werden muß, richtet sich nach der Gesteinsart und dem Wassergehalt des Gebirges. Ton und Sandstein dürften geologisch die Gegenpole bilden. Bei der Bestimmung von Q spielen die spezifischen Größen, Gewicht und Wärme, eine Rolle. Die Endtemperatur wurde als ein Mittel des gefrorenen Körpers angenommen und entsprechend eingesetzt.

$\gamma_{1,2}$: die spezifischen Gewichte des gefrorenen und des ungefrorenen Gebirges gleicher Zusammensetzung sind fast gleich. Jedenfalls ist ihr Unterschied so gering, daß er praktisch nicht in Erscheinung tritt.

Erde ²	1,34—2,0	Wasser	1,0
Lehm	1,52—2,85	Eis	0,88—0,92
Ton	1,8—2,6		
Sandstein	2,2—2,5		
Kalkstein	2,46—2,84		

$\lambda_{1,2}$: Wichtige Wärmeleitahlen sind:

Erdreich, gewachsen	2,0	Wasser	0,5
Erdreich, sandig	1,2	Eis bei 0°C	1,92
Kalkstein	0,8	Eis bei -50°C	2,39
Sandstein	1,44		
Schiefer, senkrecht zur Schichtung	1,13—1,30		
Torf, feucht	0,1		

¹ Gröber: Die Grundlagen der Wärmeleitungen und des Wärmeüberganges. Berlin 1921.

² Die Werte für γ, λ, c sind Gröber, a. a. O., und dem Taschenbuch für Kältetechniker, von Pohlmann, entnommen.

$c_{1,2}$:		
Kalksandsteine	0,22	Wasser 1,0
Sandstein	0,22	Eis 0,505
Torf	0,45	

Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärme sind zwar vom spezifischen Gewicht sowie der Temperatur abhängig, jedoch wirken sich durch sie hervorgerufene Änderungen praktisch nicht aus.

Die Lösung der Gleichung ist rechnerisch nicht möglich, da es jedesmal nur einen Wert q_0 gibt, der ihr genügt. Die Lösung erfolgt am einfachsten graphisch. Die linke Seite der Gleichung stellt eine Gerade dar, die rechte eine Kurve. Zur Erläuterung seien mehrere Beispiele durchgerechnet.

1. Beispiel.

a) Die in der Gleichung angeführten Größen haben für Gebirge mit 20% Wassergehalt nachstehend wiederzugebene Werte, die für Sandschichten Gültigkeit haben.

$\gamma_1 = 2500$	$\gamma_2 = 2500$	kg/m ³
$\lambda_1 = 1,75$	$\lambda_2 = 0,8$	kcal · m ⁻¹ · h ⁻¹ · Grad ⁻¹
$c_1 = 0,35$	$c_2 = 0,6$	kcal · kg ⁻¹ · Grad ⁻¹
$b_1 = \sqrt{\lambda_1 \cdot c_1 \cdot \gamma_1}$	$b_2 = \sqrt{\lambda_2 \cdot c_2 \cdot \gamma_2}$	kcal · m ⁻² · h ^{-0,5} · Grad ⁻¹
= 39,1	= 34,6	
$a_1 = \frac{\lambda_1}{c_1 \cdot \gamma_1}$	$a_2 = \frac{\lambda_2}{c_2 \cdot \gamma_2}$	m ² · h ⁻¹
= $\frac{1}{500}$	= $\frac{1}{1875}$	

Q_0 : 1 kg Gestein mit 20% Wasser wird auf die Durchschnittstemperatur von -20° C abgekühlt. Die zu entziehende Wärmemenge setzt sich wie folgt zusammen:

1 kg Gestein von +15°	auf -20° C = 35 · 0,22 = 7,7 kcal
1/5 kg Wasser „ +15°	auf 0° C = 15/5 = 3,0 „
1/5 kg Wasser „ 0°	in Eis von 0° C = 80/5 = 16,0 „
1/5 kg Eis „ 0°	auf -20° C = 20 · 0,5/5 = 2,0 „
	28,7 kcal

Der Ausdruck »Gaußsches Fehlerintegral« bedarf gleichfalls der Erläuterung. Es spielt nicht nur in der Wahrscheinlichkeitsrechnung eine große Rolle, sondern auch in der Physik. Die Funktion

$$G(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y e^{-y^2} dy$$

setzt sich aus 2 Faktoren zusammen, der Konstanten $\frac{2}{\sqrt{\pi}}$

und $\int_0^y e^{-y^2} dy$.

Dieses Integral ist unmittelbar nach den allgemeinen Gesetzen der Integration nicht lösbar, sondern nur mit Hilfe der Integration unendlicher Reihen. Es gibt hierfür verschiedene Möglichkeiten, die es erlauben, den Wert des Integrals für einen verschieden großen Wert von y zu errechnen. Die Ermittlung ist sehr umständlich, da die Reihen je nach dem Wert von y mehr oder weniger schnell konvergieren. Der praktische Wert des Integrals und diese in der mathematischen Entwicklung durch den Wert y liegenden Begrenzung stimmen aber soweit überein, daß das Integral für höhere Werte von y als 4,8 niemals berechnet worden ist. Tafeln geben den Wert des Integrals für den praktischen Gebrauch an. Die Grenzen des Integrals liegen zwischen

$$G(0) = 0 \text{ und } G(\infty) = 1.$$

Wie G (y) zwischen diesen beiden Grenzen sich bewegt, zeigt die folgende kurze Zahlentafel.

y	G (y)	y	G (y)
0,0	0,0	2,0	0,9953223 . .
0,10	0,1124630	3,0	0,9999779 . .
0,50	0,5204999	4,0	0,9999998458 . .
1,00	0,8427008	4,8	0,9999999999 . .
1,50	0,9661052	∞	1,0

Bei der praktischen Rechnung unserer Gleichung zeigt es sich, daß die für die Lösung der Aufgabe nötigen Werte des Gaußschen Integrals die niedrigeren umfassen.

$$G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_1}}\right) = G(y_1); \quad G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_2}}\right) = G(y_2)$$

$$y_1 = \frac{q}{1/11,1} = 11,1 \cdot q; \quad y_2 = \frac{q}{1/21,6} = 21,6 \cdot q$$

q	y ₁	G (y ₁)	q	y ₂	g (y ₂)
1/10	1,11	0,88353	1/10	2,16	0,99774
1/15	0,74	0,70467	1/15	1,44	0,95829
1/20	0,56	0,57161	1/20	1,08	0,87332
1/30	0,37	0,39920	1/30	0,70	0,67780
1/40	0,28	0,30788	1/40	0,54	0,55493
1/50	0,22	0,24429	1/50	0,43	0,45688

Die Auflösung lautet nun:

$$x = b_1 (t_0 - t_1) \frac{e^{-\frac{q^2}{4a_1}}}{G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_1}}\right)} + b_2 (t_2 - t_0) \frac{e^{-\frac{q^2}{4a_2}}}{1 - G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_2}}\right)}$$

$$= 39,1 \cdot 20 \frac{e^{-\frac{q^2}{4 \cdot 1/500}}}{G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_1}}\right)} + 34,6 \cdot 15 \frac{e^{-\frac{q^2}{4 \cdot 1/1875}}}{1 - G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_2}}\right)}$$

$$= 782 \frac{e^{-\frac{q^2}{1/125}}}{G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_1}}\right)} + 519 \frac{e^{-\frac{q^2}{1/469}}}{1 - G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_2}}\right)}$$

1. q = 1/10

$$x = \frac{782}{0,88353 \cdot 2,7^{125}} + \frac{519}{(1 - 0,99774) \cdot 2,7^{469}}$$

$$= 256 + 2177$$

$$= 2433$$

2. q = 1/15

$$x = \frac{782}{0,70467 \cdot 2,7^{225}} + \frac{519}{(1 - 0,95829) \cdot 2,7^{225}}$$

$$= 641 + 1567$$

$$= 2208$$

3. q = 1/20

$$x = \frac{782}{0,57161 \cdot 2,7^{400}} + \frac{519}{(1 - 0,87332) \cdot 2,7^{400}}$$

$$= 1006 + 1280$$

$$= 2286$$

4. q = 1/30

$$x = \frac{782}{0,39920 \cdot 2,7^{900}} + \frac{519}{(1 - 0,67780) \cdot 2,7^{900}}$$

$$= 1703 + 959$$

$$= 2662$$

5. q = 1/40

$$x = \frac{782}{0,30788 \cdot 2,7^{1600}} + \frac{519}{(1 - 0,45688) \cdot 2,7^{1600}}$$

$$= 2351 + 870$$

$$= 3221$$

6. $q = 1/50$

$$x = \frac{782}{125} + \frac{519}{469} = 0,24429 \cdot 2,7^{2500} + (1 - 0,45688) \cdot 2,7^{2500} = 2048 + 796 = 3844$$

Da die linke Seite der Gleichung eine Gerade durch den 0-Punkt ergibt, so genügen zwei Punkte zur Festlegung:

$$Q_0 \cdot \gamma_2 \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot q = x$$

$$q = 1/15: x = 4233; \quad q = 1/40: x = 1587.$$

Das Ergebnis dieses Beispiels sowie der folgenden ist in der graphischen Darstellung (Abb. 1, A.) eingetragen.

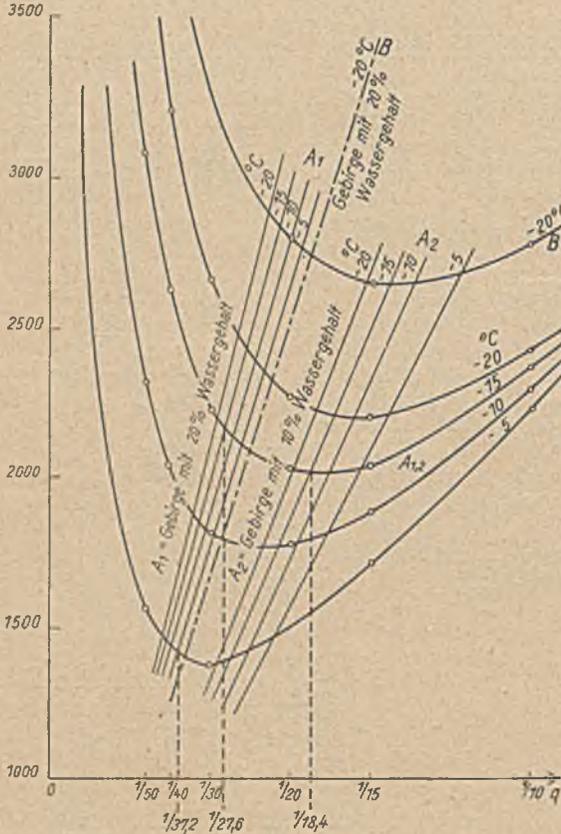


Abb. 1. Ermittlung von "q₀".

Für die Temperaturwerte von -5°C, -10°C und -15°C erhält man folgende Werte. Die linke Seite der Gleichung wird für die Durchschnittstemperatur

- b) $t_1 = -5^\circ\text{C}$ $Q_0 = 23,9$ kcal $x = 52879 \cdot q$
- c) $t_1 = -10^\circ\text{C}$ $Q_0 = 25,5$ kcal $x = 56100 \cdot q$
- d) $t_1 = -15^\circ\text{C}$ $Q_0 = 27,1$ kcal $x = 60240 \cdot q$

b) q_{-5°	x	c) q_{-10°	x	d) q_{-15°	x
1/15	3525	1/15	3740	1/15	4016
1/20	2644	1/20	2805	1/20	3014
1/40	1322	1/40	1402	1/40	1507

Die rechte Seite der Gleichung wird für

b) $t_1 = -5^\circ, b_1 \cdot t_1 = 195,5$

q	x
1/10	64 + 2177 = 2241
1/15	160 + 1567 = 1727
1/20	251 + 1280 = 1531
1/30	425 + 959 = 1384
1/40	587 + 870 = 1457
1/50	762 + 796 = 1558

c) $t_1 = -10^\circ, b_1 \cdot t_1 = 391$

q	x
1/10	128 + 2177 = 2305
1/15	320 + 1567 = 1887
1/20	503 + 1280 = 1783
1/30	851 + 959 = 1810
1/40	1175 + 870 = 2045
1/50	1524 + 796 = 2320

d) $t_1 = -15^\circ, b_1 \cdot t_1 = 586,5$

q	x
1/10	192 + 2777 = 2369
1/15	480 + 1567 = 2047
1/20	754 + 1280 = 2034
1/30	1276 + 950 = 2235
1/40	1762 + 870 = 2632
1/50	2286 + 796 = 3082

2. Beispiel.

Die linke Seite der Gleichung ergibt für Gebirge mit 10% Wassergehalt, im übrigen mit den gleichen Kennziffern wie das erste Beispiel:

- a) Gefrieren bis -20°C , $Q_0 = 18,2$ kcal, $x = 40495 \cdot q$
- b) " " -15°C , $Q_0 = 16,85$ kcal, $x = 37481 \cdot q$
- c) " " -10°C , $Q_0 = 15,50$ kcal, $x = 34488 \cdot q$
- d) " " -5°C , $Q_0 = 14,5$ kcal, $x = 31484 \cdot q$

Daraus ergibt sich in Abb. 1 das zweite Bündel der Geraden A₂.

3. Beispiel.

Die graphische Darstellung (Abb. 1, B) enthält weiterhin die Kurve für -20°C für die Kennziffern entsprechend etwa tonigen Gesteinen:

- $\gamma_1 = \gamma_2 = 2000$ kg
- $\lambda_1 = 2$ $\lambda_2 = 2$
- $c_1 = 0,4$ $c_2 = 0,8$
- $h_1 = 40$ $h_2 = 56,5$
- $n_1 = 1/400$ $n_2 = 1/800$
- Wassergehalt 20 %

Die rechte Seite der Gleichung:

q	x
1/10	352 + 2436 = 2788
1/15	800 + 1856 = 2656
1/20	1200 + 1610 = 2810
1/40	2740 + 1208 = 2949

Für diese Bedingung ergibt die linke Seite der Gleichung bei $Q_0 = 28,7$ kcal

$$x = Q_0 \cdot \gamma \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot q = 28,7 \cdot 2000 \cdot 0,89 \cdot q = 51086 \cdot q$$

q	x
1/15	3405
1/40	1277

Die Froststärke.

Die somit durch den Schnitt der Kurven mit den zugehörigen Geraden gefundenen Werte q_0 geben in der Formel

$$\xi = q_0 \cdot \sqrt{Z}$$

den Fortschritt des Frostes nach einer bestimmten Zeit Z an.

Drei Beispiele aus den vorhergehenden Berechnungen (vgl. Abb. 2) mögen zur Erläuterung dienen.

Beispiel A.

$t_1 = -15^\circ\text{C}$, Gebirge mit 20 % Wassergehalt.

$$q_0 = \frac{1}{27,6}$$

q_0	Z	\sqrt{Z}	ξ
1/27,6	1 Tag = 24 h	4,89	0,17 m
	25 Tage = 600 "	24,49	0,88 "
	50 " = 1200 "	34,64	1,25 "
	100 " = 2400 "	48,9	1,77 "
	200 " = 4800 "	69,28	2,51 "
	300 " = 7200 "	84,85	3,07 "

Beispiel B.

$t_1 = -5^\circ\text{C}$, Gebirge mit 20 % Wassergehalt.

$$q_0 = \frac{1}{37,2}$$

q_0	Z	\sqrt{Z}	ξ
1/37,2	1 Tag	4,89	0,13 m
	25 Tage	24,49	0,65 "
	50 "	34,64	0,93 "
	100 "	48,90	1,31 "
	200 "	69,28	1,86 "
	300 "	84,85	2,28 "

Beispiel C.

$t_1 = -15^\circ\text{C}$, Gebirge mit 10 % Wassergehalt.

$$q_0 = \frac{1}{18,4}$$

q_0	Z	\sqrt{Z}	ξ
1/18,4	1 Tag	4,89	0,26 m
	25 Tage	24,49	1,33 "
	50 "	34,64	1,88 "
	100 "	48,90	2,65 "
	200 "	69,28	3,76 "
	300 "	84,85	4,61 "

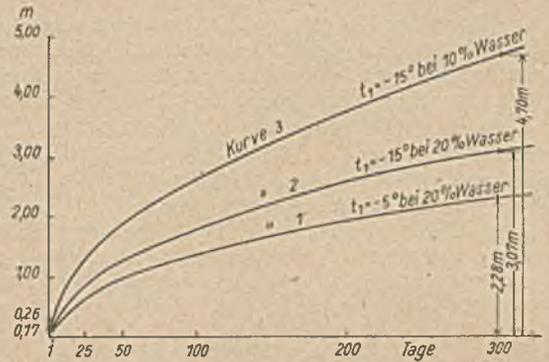


Abb. 2. Frostdauer und Frostwandstärke.

Temperaturverlauf.

Im Zusammenhang mit den bis jetzt angewandten Formeln steht die Formel für den Temperaturverlauf im gefrorenen Gebirge

$$t = t_1 - t_1 \frac{G\left(\frac{\xi}{\sqrt{4a_1 \cdot Z}}\right)}{G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_1}}\right)}$$

Für $t_1 = -15^\circ\text{C}$ und die Werte des durchgerechneten Beispiels A ergeben sich folgende Werte zu t in der 1. Zahlentafel, 5. Spalte:

$$G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_1}}\right) = G\left(\frac{1/27,6}{1/11,1}\right) = 0,42839$$

$$\sqrt{Z} = 84,85, \xi = 3,07 \text{ m.}$$

ξ	$G\left(\frac{\xi}{\sqrt{4a_1 \cdot Z}}\right)$	$\frac{G\left(\frac{\xi}{\sqrt{4a_1 \cdot Z}}\right)}{G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_1}}\right)}$	$t_1 \cdot \frac{G\left(\frac{\xi}{\sqrt{4a_1 \cdot Z}}\right)}{G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_1}}\right)}$	$t = t_1 - t_1 \frac{G\left(\frac{\xi}{\sqrt{4a_1 \cdot Z}}\right)}{G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_1}}\right)}$ °C
3	$G\left(\frac{3}{\sqrt{4 \cdot 84,85 \cdot 300}}\right) = G(0,40) = 0,42839$	1	15	0
2	$G\left(\frac{2,2}{\sqrt{4 \cdot 84,85 \cdot 300}}\right) = G(0,26) = 0,28689$	0,67	10,5	4,95
1	$G\left(\frac{1,1}{\sqrt{4 \cdot 84,85 \cdot 300}}\right) = G(0,13) = 0,14586$	0,34	5,10	9,9
0,5	$G\left(\frac{0,55}{\sqrt{4 \cdot 84,85 \cdot 300}}\right) = G(0,065) = 0,0732$	0,17	2,55	12,45

ξ	$G\left(\frac{\xi}{\sqrt{4a_1 \cdot Z}}\right)$	$\frac{G\left(\frac{\xi}{\sqrt{4a_1 \cdot Z}}\right)}{G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_1}}\right)}$	$t_1 \cdot \frac{G\left(\frac{\xi}{\sqrt{4a_1 \cdot Z}}\right)}{G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_1}}\right)}$	$t_1 - t_1 \frac{G\left(\frac{\xi}{\sqrt{4a_1 \cdot Z}}\right)}{G\left(\frac{q}{\sqrt{4a_1}}\right)}$ °C
4,6	$G\left(\frac{4,6}{\sqrt{4 \cdot 84,85 \cdot 300}}\right) = \dots = 0,60385$	1	15	0
4,0	$G\left(\frac{4 \cdot 11,1}{\sqrt{4 \cdot 84,85 \cdot 300}}\right) = G(0,52) = 0,53789$	0,39	13,35	1,65
3,0	$G\left(\frac{3 \cdot 11,1}{\sqrt{4 \cdot 84,85 \cdot 300}}\right) = G(0,39) = 0,41873$	0,693	10,39	4,61
2,0	$G\left(\frac{2 \cdot 11,1}{\sqrt{4 \cdot 84,85 \cdot 300}}\right) = G(0,26) = 0,28689$	0,473	7,09	7,91
1,0	$G\left(\frac{1 \cdot 11,1}{\sqrt{4 \cdot 84,85 \cdot 300}}\right) = G(0,13) = 0,14586$	0,241	3,61	11,39
0,5	$G\left(\frac{0,5 \cdot 11,1}{\sqrt{4 \cdot 84,85 \cdot 300}}\right) = G(0,065) = 0,0732$	0,121	1,81	13,19
0	$G(0) = \dots = 0$	0	0	15

Die Form der Kurve 1 (Abb. 3) ist überraschend. Sie nähert sich praktisch einer Geraden. Theoretisch würde sie aber unter weitgehender Berücksichtigung der Dezimalstellen entsprechend den Werten des Gaußschen Integrals eine ganz flach verlaufende Kurve darstellen, deren stärkste Krümmung in der Nähe des o-Punktes läge. Um dies besser zu veranschaulichen, habe ich noch ein zweites Beispiel durchgerechnet.

Die Auflösung der Formel für diesen zweiten Fall (Beispiel. C) lautet:

$$t_1 = -15^\circ \text{C}, 10\% \text{ Wassergehalt.}$$

$$q = 1/18,4.$$

$$G\left(\frac{q}{\sqrt{13,1}}\right) = G\left(\frac{1/18,4}{1/11,1}\right) = 0,60385$$

(s. vorstehende 2. Zahlentafel).

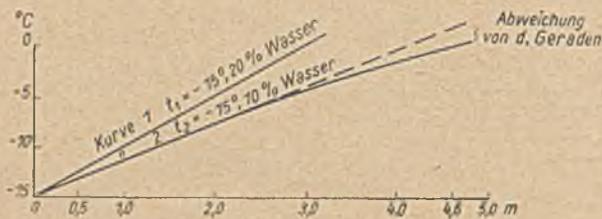


Abb. 3. Temperaturkurven.

Diese Werte für $t = -15^\circ \text{C}$ liegen auf einer Kurve 2 (Abb. 3), deren stärkste Krümmung ebenfalls in die Nähe des Nullpunktes fällt, während die Anfangswerte praktisch auf einer Geraden liegen.

Die theoretischen Ergebnisse unterstützen die praktischen Erfahrungen. Bei ihrer Betrachtung ist natürlich zu beachten, daß der Gefriervorgang beim Abteufen verwickelter ist. Die Gefrierbohrungen sind jede für sich eine Kältequelle, und da sie nahe beieinander angeordnet sind, werden sich die Kältewirkungen untereinander beeinflussen. Das vorliegende Gesetz ist hinsichtlich der Frostwirkung im Gefrierschachtbau infolgedessen nur in einer Richtung annähernd ausgeprägt sichtbar, nämlich in der vom Schachtmittelpunkte ausgehenden radialen Richtung vom Gefrierrohr ab nach außerhalb des Gefrierkreises. In allen anderen Richtungen wird das Gesetz an sich nicht unterdrückt, sondern die Wirkungen der vielen Kältequellen verwischen nur sein Erkennen.

Man kann also deutlich zwei Frostzonen unterscheiden, nämlich die »innere Frostwand« vom Gefrierkreis nach innen, und nach außen die »äußere Frostwand«.

Nach innen strahlen alle Gefrierbohrungen, ohne die Gegenwirkung der immer neu zugeführten Erdwärme zu erfahren. Der Frostvorgang nach innen ist mit dem Auffüllen eines Behälters mit Wasser zu vergleichen. Nach mehr oder weniger langer Zeitdauer wird der Behälter gefüllt, d. h. der innere Frostkörper wird ausgefroren und die Temperatur überall gleich tief in Annäherung an die durch die Lauge erzeugte Tiefsttemperatur sein.

Die »äußere Frostwand« dagegen zeigt in ihrer Struktur das Gesetz in großer Annäherung.

Die gewünschte Mächtigkeit der inneren Frostwand hängt nur von der Wahl des Gefrierkreisdurchmessers im Verhältnis zum notwendigen Aushub ab. Die Festigkeit der Frostwand wird bedingt durch das Temperaturgefälle zwischen Kältequelle und Gebirge.

Niedrige Laugentemperaturen sind wichtig, eine selbstverständliche Tatsache, die in den Schaubildern klar zum Ausdruck kommt. Der Wert von q_0 steigt z. B. von $1/37,2$ (vgl. Abb. 1) bei -5°C auf $1/25,4$ bei -20°C , bzw. von $1/21$ auf $1/18$. Der Frostvorgang bei -15°C geht viel schneller vor sich als bei einem Gefälle von nur -5°C auf -15°C , (vgl. Abb. 2, Kurven 1 und 2). In 300 Tagen = 10 Monaten ist die äußere Frostwand bei dem größeren Temperaturgefälle um 70 cm stärker gewachsen. Die Mächtigkeit der äußeren Frostwand erreicht danach nach

etwa einem Jahre nur Werte zwischen 3 m und allerhöchstens bei günstigen Verhältnissen 5 m, bei kürzerer Frostdauer erheblich weniger.

Diese theoretischen Werte decken sich mit den in der Praxis gemessenen Frosttiefen und zeigen als wesentliches Ergebnis, daß nach diesen für die Wirtschaftlichkeit des Schachtbaues langen Zeiträumen mit einer unerwartet kleinen äußeren Frostwand zu rechnen ist. Damit ist allen Anschauungen über weitgehende Mächtigkeiten, die oft vertreten werden, jede Begründung entzogen.

Fügt man nun in diesen vorliegenden Frostkörper die Temperaturlinien ein, dann ergibt sich folgendes Bild:

Nach dem Innern des Gefrierrohrkreises weist je nach den gewählten Abmessungen die Frostwand 2 bis 2,75 m (und nach den Umständen mehr) Stärke und Temperaturen auf, die bei den größeren Schächten -20°C betragen müssen. Die innere Frostwand hat demnach eine gleichmäßige Festigkeit von etwa 200 kg/cm^2 .

In der äußeren Frostwand dagegen fällt die Temperatur auf kurze Entfernung von -20°C , ihrem höchsten Wert auf 0°C , d. h. auch die Festigkeit nimmt in dem gleichen Maße ab, wobei man die Festigkeit des gefrorenen Gebirges wie beim Schwimmsand als proportional der Temperatur ansehen kann. Diese Annahme ist in diesem Zusammenhange genau genug.

Das Gesetz gibt ferner klar die Auswirkung der Wärmekenngrößen wieder. Hier ist der Wert $b = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \gamma}$, wie er von manchen Forschern als »Wärmeeinströmfähigkeit« bezeichnet wird, von Bedeutung. Der Wert b beträgt im ersten Beispiel 34,6, im dritten Beispiel 56,5; der Wert q_0 ist demnach im ersten Falle $1/25,4$, im zweiten Falle $1/18,4$, d. h. die Frostwandbildung geht bei einem größeren Wert von b schneller vor sich. Man beachte, daß nicht die Wärmeleitfähigkeit λ oder die spezifische Wärme c allein mehr oder weniger durch ihre Größe den Frostfortschritt bestimmen, sondern ihr Verhältnis zueinander und zum Gewicht des Gesteins. Ohne genauere Rechnung läßt sich also aus der Kenntnis einzelner Wärmekenngrößen nicht auf deren Gefrierbarkeit schließen.

Der Einfluß des Wassergehaltes auf den Fortschritt des Frostes sei nur kurz als Beispiel erwähnt, wie diese mathematische Formel weitgehend alle Erscheinungen des Frostvorganges in feinsten Art erfaßt. Das Schaubild 1 zeigt in den Geradenbündeln A_1 und A_2 , wie schnell der Frostfortschritt bei geringem Wassergehalt ist. Unter den gleichen Bedingungen ergab die Rechnung eine um 2 m größere Frostwand bei 10% Wassergehalt gegenüber 3 m bei 20% Wassergehalt.

Ihre weitere Auswertung würde noch manche Erscheinung der Natur erklären, jedoch genügt das Ergebnis für die vorliegende Aufgabe. Es zeigt die umfassende Gültigkeit dieser Formeln und beweist deren Anwendbarkeit zum Erkennen der Eigenschaften der Frostwand im Gefrierschachtbau.

Die durchgeführten Berechnungen beschränken sich auf einen geringen Ausschnitt aus den in der Natur möglichen Zusammenstellungen der Kenngrößen, jedoch sind die Beispiele als etwaige Grenzen anzusehen. Sie genügen für das angestrebte Gesamturteil.

Bei sehr ungünstigen Verhältnissen, z. B. Wasserreichtum, hohem Tongehalt, Vorkommen von Braunkohle, wird die Frostwandbildung noch geringere Werte als 3 m annehmen; im entgegengesetzten Falle liegen Gebirgsverhältnisse vor, die z. B. wegen geringen Wassergehalts für das Gefrierverfahren praktisch ohne Bedeutung sind.

Ergebnisse und Folgerungen.

Festigkeit und Sicherheit der Frostwand und der Tübbingsausbau.

Faßt man diese Ergebnisse mit denen von Beerigen in Verbindung mit den statischen Erkenntnissen von Domke zusammen, so führen sie von verschiedenen Grundlagen ausgehend zu gleichem Ziele.

1. Die erforderliche Frostwandstärke mit gleich hoher Festigkeit läßt sich in wirtschaftlich tragbaren Grenzen herstellen, entsprechend den durch die Frostbildung bei tiefen Temperaturen gegebenen natürlichen Möglichkeiten. Diese Frostwandstärke wird durch die durch Gefrierkreis und Aushub begrenzte »innere Frostwand« gebildet.

2. Die »äußere Frostwand« entspricht in ihrem Ausmaß und in ihrer durch den Temperaturverlauf bedingten Festigkeitszusammensetzung nicht den Anforderungen auf Sicherheit. Sie ist für die Planung der Frostwand nutzlos und bietet nur eine geringe zusätzliche Sicherheit, ohne daß sie zahlenmäßig gewertet werden kann. Der Einfluß der Plastizität auf die gleichmäßige innere Frostwand läßt erkennen, wie zwecklos die äußere Frostwand für die Sicherheit des Schachtbaues ist.

Zur Erreichung der erforderlichen Sicherheit muß die Planung, also die innere Frostwand, entsprechend bemessen und ihr durch den notwendigen Tieffrost bei -20°C oder mehr die erforderliche Festigkeit geben. Die äußere Frostwand ist aber notwendig als Schutzschicht zur Isolation der inneren Frostwand gegen die Erdwärme.

3. Bei Schächten von mehr als 500 m Teufe sind die Bedingungen im Verhältnis zu ändern und zu verschärfen, in welcher Weise, zeigen die folgenden Beispiele.

Bei 600 m Teufe ist für $s = 1,5 p = 90$ at.

Der Druck P wird 120 kg/cm^2 . Die Bedingung nach Domke

$$p = 90 \text{ kg/cm}^2 < P = 120 \text{ kg/cm}^2 < K = 200 \text{ kg/cm}^2$$

ist demnach erfüllt. Unter der Annahme eines Aushubes von 8 bzw. 9 m wird b , der Aushubhalbmesser, 4 und 4,5 m. Nach Domke ist nun

$$\frac{P_m}{K} = \frac{90}{200} = 0,45$$

$$\frac{S}{b} = \dots = 0,65$$

und somit die innere Frostwandstärke

$$S = 2,6 \text{ bzw. } 2,9 \text{ m.}$$

Bei 700 m ist p im ungünstigsten Falle mit $s = 1,7$ gerechnet, gleich 119 kg/cm^2 . Die Bedingung lautet entsprechend

$$p = 119 \text{ kg/cm}^2 < P = 140 \text{ kg/cm}^2 < K = 200 \text{ kg/cm}^2.$$

Es ist

$$\frac{P_m}{K} = 0,59$$

$$\frac{S}{b} = 1,0$$

Demnach wird S , die innere Frostwandstärke, bei den oben genannten Aushubhalbmessern

$$S = 4 \text{ m bzw. } 4,5 \text{ m.}$$

Unter der Annahme, daß bei -25°C die Bruchfestigkeit K etwa 250 kg/cm^2 beträgt, wird für 700 m Teufe

$$\frac{P_m}{K} = \frac{119}{250} = 0,47; \quad \frac{S}{b} = 0,70$$

und die innere Frostwand S für die genannten Aushubhalbmesser

$$S = 2,8 \text{ m bzw. } 3,15 \text{ m.}$$

Die erforderlichen großen Frostwandstärken zeigen, wie zwingend eine geringstmögliche Ausbaustärke ist. Weiterhin ist klar ersichtlich, welche Wirkung Tieftemperaturen für die Heraufsetzung der Festigkeit haben. Theoretisch ist also das Abteufen tiefer Schächte nach dem Gefrierverfahren möglich. Die weitreichenden technischen und wirtschaftlichen Folgerungen eines solchen Schachtbaues aufzuzeigen, geht über den Rahmen dieser Arbeit hinaus. Diese Folgerungen können so weitreichend sein, daß sich Schächte dieser Art zur Zeit praktisch nicht ausführen lassen.

Den vorstehenden theoretischen Überlegungen sind Voraussetzungen zugrunde gelegt, die bewußt vereinfacht werden mußten. Ihrer durch die Natur bedingten Veränderlichkeit hat die Schachtbauausführung zu begegnen. Sie werden im folgenden kurz bewertet.

Der Normaldruck p wird mit einer Größe zwischen 1,3 bis 1,7 H at angenommen. Er kann durch besondere unbekannte Umstände höher sein, wenn auch die Erfahrung zeigt, daß es selten zutrifft.

Bedeutungsvoller ist, daß die Ableitungen Domkes von einem in allen Teilen gleichmäßigen Frostzylinder ausgehen. Die Bildung der Frostwand ist durch die nicht zu vermeidenden Abweichungen der Gefrierbohrungen unregelmäßig. Diese nach der Teufe zu wachsende Möglichkeit muß in Rechnung gestellt werden; dabei sei betont, daß der Schachtbau in der Lage ist; die auftretenden Abweichungen auf ein Mindestmaß zu halten.

Was die größten Schwierigkeiten bereiten kann, ist die Unkenntnis der Bruchfestigkeit des vorhandenen gefrorenen Gebirges. Gerechnet wird mit den an sich guten Werten der Bruchfestigkeit gefrorenen reinen Schwimmsandes, jedoch können sogar standfeste Schichten durch ihr Gefüge eine geringere Festigkeit haben. Tonschichten und tonige Gesteine haben bereits im ungefrorenen Zustande die Eigenschaft der Plastizität. Die Bruchfestigkeit toniger Schichten im gefrorenen Zustande ist wesentlich geringer als die des Schwimmsandes; sie wurde bereits zahlenmäßig genannt.

Das Verhalten tonhaltiger Schichten beim Gefrierschachtbau ist bekannt und durch Versuch leicht nachzuweisen. Die Zahlentafel 1 bringt in den Versuchen 7 bis 9 die Ergebnisse für ein Gemisch von 65% Sand und 35% Ton. Bei Temperaturen von -25°C und -34°C sind Frostwandstärken von 3,88 m notwendig, ein Wert, der mit denen der statischen Berechnung nach Domke in Parallele gebracht werden kann, wie ein Blick auf die Zahlentafel 2 zeigt.

Unbestimmt bleibt weiter, inwieweit der Begriff »freie Höhe«, wie er bei den Versuchen von Beeringen in Erscheinung tritt, von Einfluß ist. Domke unterscheidet diesen Begriff nicht und setzt ihn nicht in die Rechnung ein. Zum Gewicht der lastenden Frostsäule tritt noch die Belastung der Ausbausäule hinzu. Die Überlegung allein genügt jedoch, um zuzugeben, daß die Wirkung der Plastizität bei einem hohen freien Stoß größer sein muß als bei kurz gehaltenem Stoß.

4. Die Anforderungen an die Frostmauer sind nach den Darlegungen sehr hoch. Ob sie erfüllt werden können, ist eine Frage, die trotz bester Planungen offen bleibt. Gebirgszusammensetzung und somit Bruchfestigkeit sind im voraus im einzelnen unbekannt.

Nach dem Grundsatz »Sicherheit zuerst« ist es demnach richtiger, Maßnahmen zur Sicherheit des Schachtes und seiner Belegschaft zu ergreifen, selbst wenn sie in der Praxis ungewohnt erscheinen und dieser oder jener Schacht auch ohne deren Berücksichtigung sicher niedergebracht worden ist.

Die Forderung bei tiefen Schächten lautet: der Gefriervorgang ist auf niedrige Temperaturen zu führen. Gleichzeitig muß durch das Unterhängen der Tübbinge das sichere Abteufen gewährleistet werden. Damit kann nur die Doppelsäule zum Einsatz gelangen, die dann gleichzeitig durch die Verbindung der größten statischen Sicherheit mit kleinster Ausbaustärke der beste Ausbau tiefer Gefrierschächte wird.

Die Frostwand als Störungsursache.

Unter dem genannten Gesichtspunkt wird das Unterhängen der Tübbinge im Hinblick auf die Sicherheit des Schachtes und seiner Belegschaft für begründeter erachtet, als bisher geschehen ist. Diese Begründung kann wegen ihrer Eigenart nicht übergangen werden, da die Frage des Unterhängens oder Aufbaus der Außen-tübbinge einer Doppelsäule mit Störungen und Gefahren

aller Art, darunter solchen aus den Bedingungen des technischen Gefrierbetriebes oder der Frostwand, in Verbindung gebracht wird, die außer ausbautechnischen Fragen die Standsicherheit der Frostmauer betreffen.

Beim Aufbauen der Außensäule werden je nach dem Gebirge Sätze bis zu 50 m abgeteuft und die Tübbingringe aufgebaut, wobei der Beton als Stampfbeton eingebracht wird. Der Anschluß an den vorhergehenden Satz erfolgt durch Paßring oder durch eine horizontale Piktogefuge, wobei der letzte Ring mit Gußbeton vergossen werden muß. Beim Abteufen werden die Stöße, wenn nötig, durch vorläufigen Ausbau geschützt.

Die Doppelsäule gibt die andere Möglichkeit, den Ausbau unmittelbar dem Abteufen folgen zu lassen. Ring für Ring wird, wenn die entsprechende Ringtiefe von normal 150 cm erreicht ist, untergehängt. Man kann auch durch besondere Verfahren Abstände mit 3 bis 4 Ringen wählen. Die Einbringung des Anschlußbetons geschieht dann entsprechend durch Vergießen aller 3 bis 4 Ringe.

Damit sind die beiden Ausbauten kurz gekennzeichnet. Stampfbeton und Gußbeton werden in ihren Eigenschaften noch besprochen; es sei jedoch vorweggenommen, daß bei zweckentsprechender, durch den Versuch festzulegender Zusammensetzung beide einander gleichwertig sind. Von diesem Gesichtspunkt aus dürften sich Erörterungen über die Zweckmäßigkeit des Unterhängens wegen der geringen Festigkeit des Gußbetons ein für allemal erübrigen.

Schwerwiegender ist der Hinweis einer größeren Sicherheit der Arbeiten an sich wie auch des Schachtes durch Unterhängen der Säule. Bei Gebirgsschichten, die durch den Frost Veränderungen erleiden oder schwer gefrierbar sind, ist die Notwendigkeit des Unterhängens selbstverständlich gegeben. Es geht aber zu weit, das Unterhängen als geeigneter hinzustellen als den vorläufigen Ausbau, weil bei diesem angeblich eine erhöhte Unfallgefahr vorliegt.

Weiterhin ist nicht einzusehen, warum das Unterhängen der Tübbinge im Gegensatz zum vorläufigen Ausbau sicherer gegen Wasserdurchbrüche durch undichte Gefrierrohre sein soll. Welch ein Zufall wäre es, wenn gerade in einem freien Stoß von 40 m ein solches Ereignis auftreten sollte, ohne rechtzeitig erkannt zu werden. Sicherheit gegen undichte Gefrierrohre bietet der untergehängte Tübbing genau so wenig wie der behelfsmäßige Ausbau. Gegen einbrechende Stöße bieten beide Ausbauten gleiche Sicherheit.

Es ist zwar verständlich, aber unberechtigt, wenn für den Bestand des Schachtes bei irgendwelchen Störungen während des Abteufens das Unterhängen als nützlich angesehen wird. Das Unterhängen soll bei Unterbrechungen der Kältezufuhr vorteilhaft sein. Dem ist entgegenzuhalten, daß erst abgeteuft wird, wenn die Frostmauer geschlossen ist und eine ausreichende Stärke erreicht hat. Der Einbau von Tübbingen von 50 m Satzhöhe durch Aufbau verlangt einen Zeitaufwand von 8 Tagen. Es ist darauf hinzuweisen, daß auch der Auftauvorgang ein Fließen von Wärme darstellt; genau wie der Gefrierprozeß Zeit braucht. In 8 Tagen taut eine Frostwand nicht auf, die 4 bis 6 Monate oder viel mehr zur Bildung nötig hatte. Sollten besondere Umstände von außen her eine Rolle spielen, so hat der Schachtbau Mittel an der Hand, auf die noch hingewiesen werden wird, um solchen Überraschungen vorzubeugen. Inwiefern der vorläufige Ausbau in diesem Falle schlechter dastehen soll als der untergehängte Tübbing, ist nicht einzusehen.

Begründungen für das Unterhängen, wie sie in der Sicherheit gegen Wasserdurchbrüche auf der Sohle und gegen Frostlücken gesehen werden, zeigen, daß diejenigen, die diese Einwürfe verteidigen, das Gefrierverfahren in seiner heutigen Vollendung noch nicht kennen und es naturgemäß unterbewerten. Die Frage, ob Aufbauen oder Unterhängen des Ausbaues zweckmäßiger ist, wird nicht durch diese Beweggründe entschieden. Im Gegenteil wird

das Unterhängen, wie gezeigt, durch die Eigenschaften der gesunden Frostwand unter den besprochenen, bestimmten Umständen bedingt, in allen anderen Fällen steht dem Aufbauen der Außensäule nichts im Wege. Die Schachtbautechnik ist heute in der technischen und wissenschaftlichen Beherrschung des Gefrierfahrens so weit entwickelt, daß Störungen durch die Frostmauer, wie die erwähnten, den Schachtbauer nicht unerwartet treffen dürfen.

Wie in jedem anderen Betriebe des Bergbaues gibt die planmäßige Betriebsführung und -überwachung auch hier Möglichkeiten, sicher und vollendet den Schacht nach dem Gefrierverfahren niederzubringen. Diese Mittel heißen: Loten der Bohrungen und Temperaturmessungen.

Voraussetzung zum Gelingen eines Frostschachtes ist eine regelmäßige, d. h. möglichst lotrechte Niederbringung der Bohrungen, die erst eine gleichmäßig geschlossene starke Frostmauer gewährleistet. Die gesammelten Erfahrungen führen zu der Erkenntnis, daß die genaue Niederbringung von Gefrierlochbohrungen durch die planmäßige Lotung in jedem Falle gesichert ist.

Sind die Bohrungen einwandfrei niedergebracht, so wird auch eine Frostmauer entstehen, die den Anforderungen entspricht. Die näheren Bedingungen sind festgelegt durch die Betrachtungen über ihre Festigkeit und Mächtigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur.

Die Temperatur muß man kennen, um mit Sicherheit handeln und abteufen zu können. Wenn man sich in Erinnerung ruft, welche Festigkeit, d. h. Temperatur, bei tiefen Schächten verlangt werden muß, und wenn man weiterhin beachtet, wie lange es dauert, bis solche Festigkeiten unter Berücksichtigung der für ein Schacht-abteufen wirtschaftlichen Zeit erreicht werden, dann wird man die Notwendigkeit der planmäßigen Temperaturmessung erkennen, damit rechtzeitig etwa notwendige Maßnahmen ergriffen werden können.

Es ist ein aus Unkenntnis der wahren Sachlage in der Struktur der Frostwand oft begangener Fehler, daß die Temperaturmessungen erst Wochen nach der Inangsetzung der Gefrieranlage beginnen. Die erste Messung hat die Gebirgstemperatur vor der Frosteinwirkung festzulegen, wobei Unregelmäßigkeiten bereits Rückschlüsse auf den Verlauf der Frostwandherstellung gestatten. Frostlücken können aus natürlichen Gründen nur durch fließendes Wasser entstehen oder schwer zu schließen sein. Bei Erkennung dieser Sachlage wird man dem Frostverlauf an den betreffenden Stellen ein besonderes Augenmerk widmen oder den Gefrierverlauf in schweren Fällen anders führen müssen, als man gewöhnt ist. Es sei hier auf Schacht-abteufen an der englischen Küste¹ hingewiesen, bei denen die Untergrundströmungen von Süßwasser sowie die unterirdische Einwirkung von Flut und Ebbe auf den Grundwasserspiegel besondere Maßnahmen beim Gefrieren verlangten, die dann auch zum Erfolg führten. Ein ähnlicher Fall² ist aus dem Elsaß bekannt, wobei es ebenfalls nur durch besondere Beobachtung und Führung des Gefriervorgangs gelang, den Schacht über eine Frostlücke hinwegzubringen.

An dieser Stelle gilt es, einer irrigen Meinung entgegenzutreten, deren Richtigstellung in den Ausführungen über Temperatur und Festigkeit begründet ist. Zur Messung der Temperatur in den Fallrohren muß das Gefrierloch naturgemäß von dem Laugenumlauf abgesperrt werden. Eine sofort nach der Absperrung vorgenommene Messung gibt bekanntlich die Temperatur nicht an. Es wird aber oft die Meinung vertreten, daß einer Laugentemperatur von -25°C auch eine Gebirgstemperatur von -25°C entsprechen muß. Die wirkliche Gebirgstemperatur liegt jedoch etwa $5-8^{\circ}\text{C}$ höher als die Laugentemperatur. Man wird z. B. bei -25°C Laugentemperatur etwa $-16^{\circ}-17^{\circ}\text{C}$ wirkliche Gebirgstemperatur finden. Dies ist vielleicht nicht ohne weiteres einzusehen, daher sei auf

¹ Henrard and Whetton: The sinking of Londonderry Colliery by the freezing process, Trans. Instn. Min. Engr. 75 (1927/28) S. 358.

² Mitteilung a. d. Verfasser über Abteufen des Kallschachtes St. Thérèse.

die Ursache dieses Warmewiderstandes hingewiesen. Man wird nicht fehl gehen, wenn man sie in dem Tongehalt der Bohrtrübe erblickt; der Ton setzt sich nicht nur an der Bohrlochwand ab, sondern er dringt auch mehr oder weniger tief in die Poren des Gebirges ein, jedenfalls genug, um dem Abfluß der Kälte aus dem Gefrierrohr einen erheblichen Widerstand entgegenzusetzen. Diese Tatsache muß bei Wärmerechnungen im Gefrierschachtbau durch eine Widerstandszahl berücksichtigt werden, deren Nachprüfung zeigt, daß sie nicht gering ist; sie hat Isolationswert. Der Temperaturunterschied ist überraschend groß, und wer bei Überlegungen über Festigkeit und Sicherheit der Frostwand von der Laugentemperatur ausgeht, wird recht unangenehmen Trugschlüssen verfallen.

Die planmäßige Betriebsüberwachung bietet also die Möglichkeit, die Grundbedingungen für das Entstehen einer Frostwand mit der gewünschten Mächtigkeit zu schaffen. Die technische Lösung ist je nach den vorliegenden Betriebsbedingungen wirtschaftlich durchführbar und verleiht der Frostwand die notwendige Festigkeit, die jedoch von der Temperatur abhängt. Während des Abteufbetriebes ist diese zu erhalten und alles zu vermeiden, was einen Temperaturabfall und somit eine Schwächung der Frostwand hervorrufen könnte.

Damit erhebt sich die Frage der gegenseitigen Wechselwirkungen zwischen der kalten Frostwand und dem abbindenden Beton, worüber die folgenden Abschnitte Aufschluß geben. (Schluß folgt.)

UMSCHAU

Weitere Zusammenfassung der Forschungsarbeiten im Ruhrbergbau.

Die Anteile der Gesellschaft für Kohlentechnik m. b. H. in Dortmund-Eving, die sich bisher im Besitz einer größeren Anzahl von Gesellschaften des Ruhrgebietes und der benachbarten Kohlenreviere befanden, sind mit Wirkung vom 1. Januar 1941 von dem Verein für die bergbaulichen Interessen in Essen übernommen worden. Damit ist ein weiterer Schritt in der Zusammenfassung und einheitlichen Ausrichtung der Forschungs- und Entwicklungs-

arbeiten im Ruhrbergbau getan. Der Gesellschaft für Kohlentechnik m. b. H. fallen durch diese Neuordnung neue wichtige Aufgaben zu, die sie als Gemeinschaftsunternehmen des Ruhrbergbaus auf dem Gebiet der chemischen Veredlung zu lösen hat.

Mit dem gleichen Zeitpunkt ist der bisherige Geschäftsführer der Gesellschaft für Kohlentechnik m. b. H., Direktor Dr. Dohse, ausgeschieden, um eine leitende Stellung in einer großen Bergbaugesellschaft des Ruhrgebietes zu übernehmen. Zum neuen Geschäftsführer wurde Direktor Dr. Großkinsky bestellt.

PATENTBERICHT

Gebrauchsmuster-Eintragungen¹,

bekanntgemacht im Patentblatt vom 5. Juni 1941.

- 1a. 1503031. Anhaltische Kohlenwerke, Berlin. Beheizte Siebwalzen-rost und Plansiebe. 7. 7. 39. Protektorat Böhmen und Mähren.
- 1c. 1502911. Klöckner-Humboldt-Deutz AG., Köln. Schaumswimmmaschine mit Rührer. 4. 10. 40.
- 1c. 1502912. Klöckner-Humboldt-Deutz AG., Köln. Schaumswimmmaschine mit unterem Trübezulauf. 5. 10. 40.
- 5b. 1502923. Maschinenfabrik Hermann Meier, Dortmund-Körne. Vorrichtung zur Befestigung von selbsttätigen Vorschubapparaten für Bohrhämmer. 6. 5. 40.
- 5b. 1502924. Wilhelm Diener, Dortmund. Rollenkeil. 7. 5. 40.
- 5b. 1502998. Hauhinco Maschinenfabrik G. Hausherr, Jochums & Co., Essen. Regelvorrichtung für den Einlaß der Druckluft bei Druckluftwerkzeugen, besonders bei Abbauhammern. 22. 3. 41.
- 5c. 1502918. Heinrich Toussaint, Berlin-Grünwald, und Bochumer Eisenhütte Heinzmann & Co., Bochum. Auslösevorrichtung für Wanderpfeiler. 19. 7. 39.
- 5c. 1502931. Emil Paetsch, Essen-Altenessen. Keilverschluß für eiserne Grubenstempel. 4. 12. 40.
- 5c. 1502933. Karl Gerlach, Moers (Niederrh.), und Georg Bachmann, Bochum. Schaleisen für den Bergbau. 17. 1. 41.
- 5c. 1502934. Karl Gerlach, Moers (Niederrh.), und Georg Bachmann, Bochum. Schwenkbarer Kopf für Grubenstempel. 18. 1. 41.
- 5c. 1502955. Heinrich Toussaint, Berlin-Grünwald, und Bochumer Eisenhütte Heinzmann & Co., Bochum. Zweiteiliger eiserner Grubenstempel mit einem Ober- und Unterstempel verspannendem Keilschloß. 29. 11. 38.
- 5c. 1502957. Emil Altmann, Oberhausen-Sterkrade, Willi Bosner, Duisburg-Hamborn, und Josef Helbl, Duisburg-Hamborn. Verstärkungsstück für Schaleisen. 4. 3. 41.
- 5c. 1502958. Heilmann Schwarz, Kommanditgesellschaft, Wattenscheid. Ausbau für Abbaustrücken vornehmlich steil gelagerter Floze. 24. 1. 39.
- 5c. 1502962. Gewerkschaft Reuß, Bonn. Eiserner Grubenausbau. 30. 5. 39. Protektorat Böhmen und Mähren.
- 5c. 1502999. Heinrich Kuhlmann, Mariadorf bei Aachen. Vorbauanzug zum Einbringen des Ausbaues mit Schaleisen. 25. 3. 41.
- 5c. 1503017. Emil Paetsch, Essen-Altenessen. Keilschloß für zweiteilige eiserne Grubenstempel. 21. 4. 41.
- 5d. 1502937. Bergtechnik GmbH., Lünen (Lippe). Dreh- und schwenkbare Schurre. 1. 2. 41.
- 5d. 1503010. Reichswerke AG., Alpine Montanbetriebe »Hermann Göring«, Wien 1. Weiterlichter. 7. 4. 41.
- 10b. 1502983. Wilhelm Hoberg, Bergneustadt (Rhld.). Brikett-Nachglüh-Ofenanzünder. 10. 12. 40.
- 10b. 1503262. Continental Kohlenhandel Heinrich Horst, Bremen. Anheizmittel zum Entzünden von Brennstoffgut. 21. 4. 41.
- 81e. 1503318. Josef Schrage, Stuttgart. Förderband mit längs- und queraxialer Verstellbarkeit. 27. 2. 41.

Patent-Anmeldungen¹,

die vom 5. Juni 1941 an drei Monate lang in der Auslegung des Reichspatentamtes ausliegen.

- 5c. 7. T. 54314. Erfinder, zugleich Anmelder: Reinhold Thor, Magdeburg. Untertage-Abbauverfahren für Lagerstätten großer Mächtigkeit. 2. 10. 40.

¹ In den Gebrauchsmustern und Patentanmeldungen, die am Schluß mit dem Zusatz »Österreich« und »Protektorat Böhmen und Mähren« versehen sind, ist die Erklärung abgegeben, daß der Schutz sich auf das Land Österreich bzw. das Protektorat Böhmen und Mähren erstrecken soll.

- 5c. 10/01. H. 157249. Erfinder, zugleich Anmelder: Wilhelm Hinselmann, Essen-Bredeneu, und Carl Tiefenthal, Velbert (Rhld.). Grubenstempel. Zus. z. Pat. 695899. 1. 10. 38.

10a. 4/05. O. 24583. Erfinder: Dr. Walter Stäckel, Bochum. Anmelder Dr. C. Otto & Comp. GmbH., Bochum. Verbundkoksofen mit senkrechten Zwillingsheizröhren. 28. 5. 40. Protektorat Böhmen und Mähren.

10a. 5/20. K. 157122. Erfinder: Dipl.-Ing. Wilhelm Guntermann, Berlin-Karlshorst. Anmelder: Heinrich Koppers GmbH., Essen. Wechselwinde zum Umstellen der Heizmittelumsteuerungseinrichtungen von batterieartig angeordneten regenerativ beheizten Verkokungsöfen. 23. 3. 40. Protektorat Böhmen und Mähren.

10a. 13. O. 24443. Erfinder: Karl Lübbers und Paul Freund, Bochum. Anmelder: Dr. C. Otto & Comp. GmbH., Bochum. Kokslöschwagen. 24. 1. 40. Protektorat Böhmen und Mähren.

81e. 133. V. 32035. Adalbert Vidal, München. Aus einem Fallrohr mit verschließbaren Entnahmeöffnungen bestehende Einrichtung zur Probenentnahme von Lagergut. 1. 8. 35.

81c. 143. Sch. 117333. Erfinder, zugleich Anmelder: Gottfried Schneiders, Köpfling (Oberdonau), und Dr.-Ing. Adolf Schneiders, Frankfurt (Oder). Verfahren zum unterirdischen Lagern von Flüssigkeiten, die leichter als Wasser und mit diesem nicht mischbar sind. Zus. z. Anm. Sch. 112852. 27. 12. 38.

Deutsche Patente.

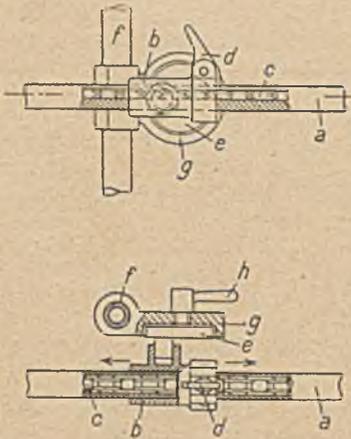
(Von dem Tage, an dem die Erteilung eines Patentes bekanntgemacht worden ist, läuft die fünfjährige Frist, innerhalb deren eine Nichtigkeitsklage gegen das Patent erhoben werden kann.)

1a (28₁₀). 705762, vom 10. 6. 36. Erteilung bekanntgemacht am 3. 4. 41. Westfalia-Dinnendahl-Gröppel AG. in Bochum. *Luftsetzmaschine*. Erfinder: Max Meyer in Beuthen (O.-S.).

Unterhalb des Setzbettes münden in dessen Förderrichtung hintereinanderliegende Rohre, von denen jedes zweite Rohr einen regelbaren pulsierenden Luftstrom und das zwischen diesen Rohren liegende Rohr einen stetigen Luftstrom dem Setzbett zuführt. Die Rohre für den stetigen Luftstrom können an ihrer Mündung etwa die Breite des Setzbettes haben und in einem mittleren, in die Hauptleitung für den pulsierenden Luftstrom eingebauten Sammelkanal münden, der etwa dieselbe Höhe hat wie die Hauptleitung für den pulsierenden Luftstrom. Die Anordnung der Rohre ermöglicht es, die hintereinanderliegenden Abschnitte des Setzbettes bezüglich des stetigen und auch des pulsierenden Luftstromes zu regeln, d. h. die Luftverhältnisse den jeweiligen Aufbereitungsbedingungen weitgehend anzupassen.

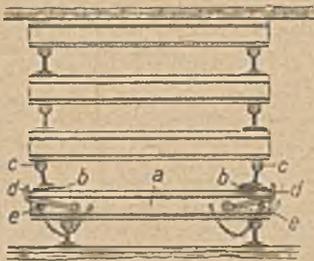
5b (15₀₁). 705739, vom 26. 1. 39. Erteilung bekanntgemacht am 3. 4. 41. Siemens-Schuckertwerke AG. in Berlin-Siemensstadt. *Vorschubeinrichtung für Kohlebohrmaschinen*. Zus. z. Pat. 689812. Das Hauptpat. hat angefangen am 15. 4. 38. Erfinder: Richard Wilke in Berlin-Charlottenburg. Der Schutz erstreckt sich auf das Protektorat Böhmen und Mähren.

Die zwischen dem Kohlenstoß und einem von einer Spannsäule getragenen Rohr festspannbare, in dem Rohr achsial verstellbare Schraubenspindel, auf der bei der Einrichtung gemäß dem Hauptpatent die Bohrmaschine verschiebbar ist, ist durch eine z. B. mit Exzentern, Kurbeln

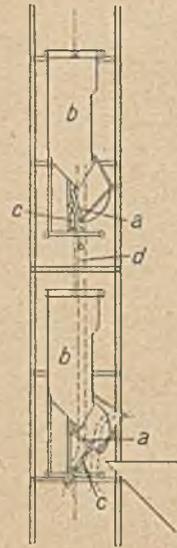


oder dgl. verschiebte Spannvorrichtung ersetzt. Das die Bohrmaschine verschiebbar tragende, zwischen dem Kohlenstoß und einer Spannsäule festspannbare Rohr *a* kann in einer Muffe *b* verschiebbar und innen mit einer in einer Nut liegenden fest eingespannten Kette *c* versehen sein. In die Glieder der Kette greift eine an der Muffe *b* schwenkbar gelagerte Sperrklinke *d* ein. Die Muffe *b* mit dem Rohr *a* wird von dem Kurbelzapfen einer Kurbelscheibe *e* getragen, die drehbar in einer auf der Spannsäule *f* verstellbaren Scheibe *g* gelagert und deren Drehachse mit der Handkurbel *h* versehen ist. Durch Drehen der letzteren wird das Rohr *a* zwischen dem Kohlenstoß und der Spannsäule *f* festgespannt.

5c (10₀₁). 705740, vom 11. 3. 38. Erteilung bekanntgemacht am 3. 4. 41. Gelsenkirchener Bergwerks-AG. in Essen. *Lösevorrichtung für Wanderpfeiler*. Der Schutz erstreckt sich auf das Land Österreich.



Auf die in einer Ebene liegenden Schienen *a* des Pfeilers sind, wie bekannt, von der Mitte des Pfeilers nach außen hin abfallende Keile *b* vorgesehen, auf denen die von den Schienen *a* getragenen Schienen *c* des Pfeilers aufliegen. Die Steigung der Keile ist so gewählt, daß die darauf ruhenden Schienen eine solche Schräglage haben, daß sie durch den Gebirgsdruck in ihrer Lage gehalten werden und durch einen leichten Schlag zum Abrutschen von den Keilen gebracht werden können. Gemäß der Erfindung liegt die untere Fläche des Fußes der Schienen unmittelbar auf den Keilen und ist eine Sicherung gegen unbeabsichtigtes Abrutschen der Schienen von den Keilen vorgesehen. Die Sicherung kann aus einem an der im Keile tragenden Schiene *a* befestigten Haken *d* bestehen, dessen umgebogenes Ende vor dem verjüngten Ende des Keiles liegt. Der Haken *d* kann dabei U-förmig sein und mit seinen Schenkeln zu beiden Seiten des Steges der Schiene *a* liegen, an der er befestigt ist. Der Haken kann ferner durch einen kegeligen Stift *e* in seiner Sicherungslage gehalten werden.



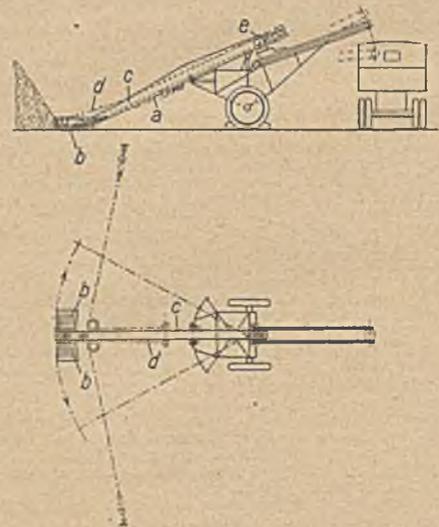
35a (9₀₃). 705783, vom 18. 3. 39. Erteilung bekanntgemacht am 3. 4. 41. Skip Compagnie AG. in Essen. *Sicherheitseinrichtung für Sippförderanlagen*. Erfinder: Kurt Trompke in Essen. Der Schutz erstreckt sich auf das Protektorat Böhmen und Mähren.

Der zum Begrenzen der Entladestellung der Verschlussklappe *a* des Fördergefäßes *b* dienende Teil *c* der Förderanlage wird in Abhängigkeit vom Übertreibweg so kraftschlüssig gesteuert, daß die Bodenverschlussklappe über ihre Entladestellung hinaus geöffnet wird. Der Teil *c* läßt sich z. B. durch im Übertreibweg angeordnete Kurven *d* steuern und als doppelarmiger Rollenhebel ausbilden. Die Rolle des letzteren kann dabei nachgiebig gelagert werden.

81e (51). 705854, vom 14. 7. 39. Erteilung bekanntgemacht am 3. 4. 41. Brown, Boveri & Cie AG. in Mannheim-Käfertal. *Mit Gefälle einander zugeordnete Schwingförderrohre*: Erfinder: Dipl.-Ing. Ernst Siegfried in Mannheim-Freudenheim, Albert Müller und Friedrich Orth in Mannheim.

Am Eintrittende der in der Förderrichtung nachgeschalteten tiefer liegenden Rohre ist ein ringförmiger Übergangsstutzen befestigt, in den das den Rohren vorgeschaltete Rohr hineinragt. Der Übergangsstutzen hat eine solche Neigung nach dem nachgeschalteten Rohr hin, daß das Fördergut nicht aus dem hinteren Ende des Stutzens, d. h. nicht entgegen der Förderrichtung des Gutes aus dem Stutzen austreten kann.

81e (112). 705821, vom 14. 8. 37. Erteilung bekanntgemacht am 3. 4. 41. Carl Wolski in Wülfrath. *Fahrbare Aufladevorrichtung*. Der Schutz erstreckt sich auf das Land Österreich.



Die Vorrichtung hat einen am vorderen Ende fächerförmig in waagerechter Ebene vor dem aufzunehmenden Guthaufen hin und her schräg ansteigenden schwenkbaren Förderer *a* mit zu beiden Seiten seines unteren Endes angeordneten, zum Aufnehmen des Gutes dienenden pflugscharähnlichen Schaufeln *b*. Der Förderer *a* hat eine zwischen die Schaufeln *b* hineinragende Rinne *c*, in der ein über waagrecht liegende Rollen laufendes endloses Kratzerband *d* angeordnet ist. Die Kratzer des unteren Trumms dieses Bandes schieben das von den Schaufeln *b* in die Rinne *c* beförderte Verladegut über den Boden der Rinne zu deren Abwurfende *e*.

BÜCHERSCHAU

Stahldraht. Seine Herstellung und Eigenschaften. Von Professor Dr.-Ing. Anton Pomp. (Stahleisen-Bücher,

Bd. 1.) 275 S. mit 265 Abb. Düsseldorf 1941, Verlag Stahleisen mbH. Preis geb. 17 RM.

Es ist der erste Band der Stahleisen-Bücher, die das gesamte Gebiet des Eisenhüttenwesens einschließlich seiner Grenzgebiete nach einheitlichen Gesichtspunkten behandeln sollen. Dieser Band hat ein Gebiet zum Gegenstand, für dessen bevorzugte Behandlung ein Bedürfnis vorliegt. Bis zum Jahre 1920 gab es noch kein Schrifttum, das geeignet war, auch nur über ein Teilgebiet der Drahtherstellung in wünschenswerter Weise Aufschluß zu geben. Das ist schon deshalb bemerkenswert, weil bereits im Altertum Drahtherstellung und Drahtverfeinerung betrieben und im Mittelalter besonders in Deutschland an vielen Orten gepflegt wurden. Über die Einrichtungen dieser Zeit ist offenbar deshalb so wenig auf unsere Tage überliefert worden, weil es nach den Vorschriften der Zünfte verboten war, über ihre Einrichtungen und Verfahren schriftliche Aufzeichnungen zu machen. Aber auch später waren die Drahtzieher über Fortschritte und überwundene Schwierigkeiten keineswegs mittelam. Der Verfasser sagt im Vorwort, daß es heute noch Werke gibt, die die Besichtigung ihrer Stahlpatentieranlage nicht gestatten, obwohl seit Erfindung dieses Verfahrens 60 Jahre vergangen sind und es in zahlreichen Veröffentlichungen beschrieben wurde. Wie umfangreich das einschlägige Schrifttum in den letzten beiden Jahrzehnten bereits geworden ist, geht aus dem Schrifttumsverzeichnis des Buches hervor, in dem 344 Arbeiten angeführt sind, die unmittelbar oder mittelbar auf die Drahtherstellung Bezug haben. Es ist sehr zu begrüßen, daß der Verfasser, der selbst eine Anzahl von Forschungsarbeiten auf diesem Gebiete durchführte, den im Schrifttum verstreuten Stoff gesichtet und in übersichtlicher Weise zur Darstellung gebracht hat. Er behandelt sowohl das rein Handwerkliche als auch in erschöpfender Weise die wissenschaftlichen Grundlagen der verschiedenen Arbeitsverfahren und die dabei auftretenden Änderungen der Werkstoffeigenschaften. Ausgehend vom Walzdraht, dessen Sorten und dabei vorkommenden Walz- und Werkstofffehlern, werden das Fertigerzeugnis nach Form und Eigenschaften, die Drahtnormen und Drahtlehren besprochen. Es folgen Ausführungen über die Vorbereitungsarbeiten, den Verformungsmechanismus beim Drahtziehen, den Kraft- und Arbeitsbedarf, die Einflußgrößen auf die Ziehkraft und den Formänderungswirkungsgrad. Ein besonderer Abschnitt ist der Schilderung der Eigenschaftsänderungen des Werkstoffes durch das Ziehen gewidmet. Es folgen Beschreibungen der Drahtzüge und der Ziehwerkzeuge. Die letzten Abschnitte unterrichten über das Glühen, Patentieren, Härten, Vergüten, Schleifen, Polieren, Verzinken und Verzinnen der Drähte sowie über die hierfür gebräuchlichen Einrichtungen. Der letzte Abschnitt ist der Drahtprüfung gewidmet. Das Buch wird bei allen Fachleuten, die sich mit der Herstellung oder Verarbeitung von Stahldraht zu befassen haben, eine freundliche Aufnahme finden.

Hubert Hoff, Aachen.

Großdeutschlands Steinkohlenlager. Von Dr. E. Stach, Bezirksgeologe an der Reichsstelle für Bodenforschung und Dozent an der Universität Berlin. (Deutscher Boden, Bd. 10.) 150 S. mit 36 Abb. und 1 Taf. Berlin 1940, Gebrüder Borntraeger. Preis geb. 4,80 *R.M.*

Von dem auf dem Gebiete der Kohlenpetrographie bekannten Verfasser ist vor kurzem in der Sammlung Deutscher Boden als Band 10 ein Buch über Deutschlands Steinkohlenlagerstätten erschienen, das allgemeinem Interesse begegnen dürfte. Zwar ist das deutsche Schrifttum nicht arm an umfangreichen Darstellungen der kleinen und großen Steinkohlenvorkommen des deutschen Raumes und der Welt; es fehlte jedoch eine lediglich die Lagerstätten des deutschen Bodens einschließlich der ehemals deutschen und österreichischen Gebiete berücksichtigende, neuzeitlich ausgerichtete und zusammenfassende Übersicht. Mit dem vorliegenden, durch sorgfältig ausgewählte und

ausgezeichnet wiedergegebene Abbildungen geschmückten Büchlein hat Stach diese Lücke ausgefüllt.

Ausgehend von den Erzeugern der Steinkohlenflöze, den Pflanzen des Steinkohlenwaldes und dessen Natur als Flachmoor-Sumpfwald, schildert der Verfasser in allgemein verständlicher, aber auf genauer wissenschaftlicher Grundlage aufgebauter Darstellung zunächst den Werdegang der Steinkohle aus dem Torf der karbonischen Urmoore, um sich dann näher mit dem für die Bildung der Steinkohle so wichtigen Begriff der Inkohlung und dem mikroskopischen Gefüge der Steinkohle zu beschäftigen. Hier schöpft der Verfasser aus den Ergebnissen wertvoller eigener Forschung. Nach einem Überblick über den »Bildungsraum und Entstehungsvorgang der deutschen Steinkohlenlager« folgt der »Verbreitung und Bau der deutschen Steinkohlenlager« umfassende Hauptteil mit den Steinkohlenvorkommen der Altzeit und Mittelzeit der Erde. Neben den großen deutschen Lagerstätten des Ruhrbezirks mit dem anschließenden linksrheinischen, dem Aachener und dem Osnabrücker Steinkohlengebiet, dem oberschlesisch-mährischen, dem Saargebiet und dem niederschlesischen Bezirk erfahren auch die kleinen deutschen Steinkohlenvorkommen eine das Wesentliche ihrer Stratigraphie und Tektonik kennzeichnende Behandlung. Auch das Kladnoer Steinkohlengebiet, das Pilsener, die kleinen böhmischen Steinkohlenbecken, das Steinkohlengebiet in Deutsch-Ostafrika sowie die wirtschaftlich unbedeutenden Steinkohlenlagerstätten der Mittelzeit der Erde werden nicht vergessen. Ein weiterer Hauptabschnitt ist dann der »Erforschung der Steinkohlenlager« gewidmet, in welchem auf die Bedeutung der Bestimmung der Schichtenfolge, der Flözgleichstellung und der Feststellung des Schichtenbaues hingewiesen wird. Hierbei wird der Verfasser auf Grund seiner gut gebildeten Ausführungen über die tektonischen Störungen der Steinkohlenlager und ihre Ausrichtung für die Zwecke der Praxis des Bergbaus neben der rein geologischen auch der Tätigkeit des Markscheiders für die Erkenntnis des Lagerstättenbildes gerecht. Der letzte Hauptabschnitt behandelt »die wirtschaftliche Bedeutung der großdeutschen Steinkohlenlager«, deren Kohleninhalt nicht nur als Brennstoff, sondern auch als Rohstoff zur Erzeugung der zahlreichen lebenswichtigen Werkstoffe für die großdeutsche Wirtschaft von so überragender Wichtigkeit ist.

Alles in allem eine zwar knappe, aber alles Wesentliche treffende, leicht faßliche und anregende Darstellung der Grundlagen der deutschen Kohlenversorgung. Es erübrigt sich, dem ebenso anschaulich wie flüssig geschriebenen und gut ausgestatteten Buch eine besondere Empfehlung mit auf den Weg zu geben. Die Freunde werden ihm nicht fehlen.

Kukuk.

Zur Besprechung eingegangene Bücher.

- von Dassel: Handbuch für Sprengmeister. Gesetze und Verordnungen für den ostmärkischen Sprengmeister. 172 S. mit Abb. Wien, Verlag für Fachliteratur (Dipl.-Ing. Rudolf Bohmann). Preis geb. 2,50 *R.M.*
- Dichgans, Hans: Die Preisbildung in der Eisenwirtschaft. 258 S. mit 2 Abb. Düsseldorf, Verlag Stahleisen mbH. Preis in Pappbd. 6,40 *R.M.*
- 25 Jahre Didier-Kogag. Koksofenbau- und Gasverwertungs-AG. Gewidmet von der Arbeitsgemeinschaft Didier-Kogag-Hinselmann. 15 S. mit Abb.
- Gries, F.: Veranschaulichung der Grubenbewetterung. Hrsg. von der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Bochum. Essen, Verlag Glückauf GmbH. Preis der Karte aufgezogen 5,60 *R.M.*
- Personal- und Vortragsverzeichnis der Technischen Hochschule Berlin. Sommersemester 1941 und Wintersemester 1941/42. Hrsg. im April 1941. 194 S. mit 1 Karte.

ZEITSCHRIFTENSCHAU

(Eine Erklärung der Abkürzungen ist in Nr. 1 auf den Seiten 25–27 veröffentlicht. * bedeutet Text- oder Tafelabbildungen.)

Geologie und Lagerstättenkunde.

Allgemeines. Weinholz, Manfred: Über die Bildung einer Bodensenkung im Bereich der Buntsand-

stein-Tertiär-Verwerfung bei Reinsdorf in Braunschweig. Braunkohle 40 (1941) Nr. 21 S. 269/75*. Geologische Verhältnisse des Gebiets. Beschreibung einer mit der Bildung von Rissen und streichenden Bruchlinien verbundenen grubenartigen Bodensenkung, deren Verlauf durch Bohrungen und mit Hilfe von Geoskopmessungen festgelegt wurde.

¹ Einseitig bedruckte Abzüge der Zeitschriftenschau für Karteizwecke sind vom Verlag Glückauf bei monatlichem Versand zum Preise von 2,50 *R.M.* für das Vierteljahr zu beziehen.

Grundwasser. Keller, Gerhard: Methodisches zur geohydrologischen Erkundung der Grundwasser-Verhältnisse. Gas- u. Wasserfach 84 (1941) Nr. 21 S. 317/22*. Auswertung topographischer Karten. Grundwassererkundungen im Gelände. Geohydrologische Untersuchungen in gefalteten und aufgestauchten Sedimenten. Schrifttum.

Bergtechnik.

Allgemeines. Kuhn, Otto: Die Durchführung der technischen Rationalisierung im Steinkohlenbergbau untertage. Glückauf 77 (1941) Nr. 22 S. 325/27. Die wichtigsten Aufgaben. Die Träger der Arbeiten: Techniker des Bergwerksbetriebes, der Bergbau-Verein mit seinen Fachausschüssen, die überbezirklichen Arbeitsgemeinschaften, Versuchsstrecken und Seilprüfstellen, die Maschinen-, Elektro- und Sprengstoffindustrie, die Berghochschulen und die Bergbehörden, Zusammenarbeit der verschiedenen Stellen.

Abbau. Buch, John: Collapsible steelprops in longwall anthracite mining. Trans. Amer. Inst. Min. Metallurg. Engrs. Coal Division 139 (1940) S. 155/68*. Erfahrungen mit dem »Langham«-Stahlstempel, der sich bei mehr als 450 t Tragfähigkeit durch Drehen eines Schlüssels zum Zusammenfallen bringen läßt.

Schießarbeit. Schultze-Rhönhof, Herbert: Neuere Erkenntnisse auf dem Gebiet der Sicherheit der Schießarbeit. Bergbau 54 (1941) Nr. 12 S. 177/80*. Feststellung, daß die Zündung von Schlagwettern bei Verwendung von Wettersprengstoffen in erster Linie dann eintritt, wenn Sprengstoffteilchen in die schlagwettererfüllte Umgebung des Bohrlochs geraten, ehe sie vollständig detoniert sind. (Schluß f.)

Gebirgsdruckforschung. Rice, George: Ground movement and subsidence studies in mining coal, ores and nonmetallic minerals. Trans. Amer. Inst. Min. Metallurg. Engrs. Coal Division 139 (1940) S. 140/54. Übersicht über 15 Jahre umfassende Arbeiten auf dem Gebiete der Gebirgsdruckforschung und Anregungen für künftige Untersuchungen.

Bucky, P. B., und R. V. Taborelli: Effects of artificial support in longwall mining as determined by barodynamic experiment. Trans. Amer. Inst. Min. Metallurg. Engrs. Coal Division 139 (1940) S. 211/23*. Druckversuche an Modellen zur Erforschung der Einwirkung des Ausbaues auf das Gebirgsverhalten beim Langfrontbau.

Sinclair, David, und Philip B. Bucky: Photoelasticity and its application to mine-pillar and tunnel problems. Trans. Amer. Inst. Min. Metallurg. Engrs. Coal Division 139 (1940) S. 224/68*. Anwendung spannungsoptischer Verfahren zur Klärung von Gebirgsdruckfragen im Bergbau und Tunnelbau.

Förderung. Köhler, Fritz: Deutsche Pionierleistungen auf dem Gebiete der Schachtförderung im Bergbau. (Forts.) Fördertechn. 34 (1941) Nr. 9/10 S. 65/69*. Beschreibung verschiedenartiger Förderkorbbeschickungsanlagen. (Schluß f.)

Müller, Bruno: Bandstraße zur Förderung der Rohbraunkohle aus einem neuzeitlichen Tagebau. Fördertechn. 34 (1941) Nr. 9/10 S. 73/75*. Beschreibung der Bandstraße, die mit 1100 m Länge einen Höhenunterschied von 101 m überwindet und 900 t/h leistet.

Wetterführung. Haase, Oswald: Neue Wege zur wirtschaftlichen Gestaltung der Wetterführung durch besondere Berücksichtigung von Strecken mit großen Querschnittsveränderungen. Glückauf 77 (1941) Nr. 23 S. 337/44*. Gebirgsdruck und Ausbauart. Messung und Aufzeichnung der Querschnitte. Einfluß der Übergänge. Ermittlung des Unterdrucks, der Strömung und des Strömungsvermögens. Graphisches Rechnen. Hintereinanderschaltung der Wetterströme. Zwanglose Wetterverteilung.

Aufbereitung und Brikettierung.

Steinkohlenaufbereitung. Meyer, Hermann: Die Aufbereitung der Steinkohlen zur Gewinnung von Brennstoffen für Fahrzeuggaserzeuger. Feuerungstechn. 29 (1941) Nr. 4 S. 73/79*. Waschkurven für die Beurteilung der Aufbereikbaarheit einer Steinkohle. Die heute üblichen Aufbereitungsverfahren für mittelkörnige Steinkohle. Neuzeitliche Siebmaschinen. Aufbereitungskosten in Abhängigkeit von Aschenverminderung und Ausbrennen.

Braunkohlenaufbereitung. Rammler, E., und J. Gall: Wege zur Herstellung aschen- und schwefel-

armer Braunkohlenerzeugnisse für Fahrzeuggeneratoren. Feuerungstechn. 29 (1941) Nr. 4 S. 79/86*. Gewinnung aschen- und schwefelarmer Braunkohlenschwelkokse durch Verarbeitung geeigneter Braunkohle sowie chemische Entaschung von Braunkohle mit Salzsäure und Behandlung mit Entschwefelungsmitteln, im besonderen Wasserstoff.

Krafterzeugung, Kraftverteilung, Maschinenwesen.

Verdichter. Maereks, J.: Die Überwachung und Untersuchung von Hochdruckanlagen für Preßluft. Bergbau 54 (1941) Nr. 11 S. 165/75*. Nr. 12 S. 180/84*. Das Füllen der Lokomotiven. Druckdiagramme an der Erzeugeranlage. Untersuchung einer Hochdruckanlage. Der zeitweilige Druckverlust in der Rohrleitung. Die stündlichen Verbrauchssäulen. Ergebnis der Messungen.

Gasmotor. Wohlschläger, H.: Der Zündstrahlgasmotor. Öl u. Kohle 37 (1941) Nr. 18 S. 327/29*. Kennzeichnung und Vorteile des Zündstrahlgasmotors, der sich vom Ottomotor durch die Höhe des Dichtungsverhältnisses und durch die Art der Verbrennungseinleitung unterscheidet.

Anthrazitgaslastwagen. Lessnig, Rudolf: Betriebshaltung und Kosten von Anthrazitgaslastwagen. Feuerungstechn. 29 (1941) Nr. 4 S. 87/91*. Holz und Holzkohle als Energieträger. Fossile Brennstoffe als Vergasungstoff. Technische Entwicklung des Gaserzeugers. Kühlung und Reinigung. Kosten und Wirtschaftlichkeit der Brennstoffe.

Chemische Technologie.

Kokereiwesen. Gieseler, Kurt: Das Treiben der Steinkohlen bei der Verkokung. (Schluß.) Glückauf 77 (1941) Nr. 22 S. 328/32*. Einfluß von Kohlenbeschaffenheit und Verkokungsbedingungen: Wassergehalt, Körnung, Kohlenmischung, Zusatz von Magerungsmitteln und Verkokungsgeschwindigkeit. Schlußfolgerungen.

Chemie und Physik.

Kohlenstoffbestimmung. Lange, Wilfried, und Walter Rentzel: Kohlenstoffbestimmung in Pyritkonzentraten und schwer verbrennlichen Substanzen. Glückauf 77 (1941) Nr. 23 S. 345/48*. Kritische Betrachtung der verschiedenen Verfahren zur mengenmäßigen Unterscheidung des als Carbonat und organisch gebunden vorliegenden Kohlenstoffs. Vorteile einer Halbmikromethode unter Beimischung saurer Zuschläge.

Wirtschaft und Statistik.

Elektrizitätsversorgung. Friedrich, A.: Die Elektrizitätsversorgung der Erde im Jahre 1940. Elektr. Wirtsch. 40 (1941) Nr. 14 S. 236/39. Kriegseinflüsse auf die Elektrizitätswirtschaft. Entwicklung auf dem europäischen Festland, im Britischen Reich, in den sonstigen überseeischen Gebieten, Sowjet-Rußland und Asien.

Ölversorgung. Bahr, Hans: Das Öl im englischen Krieg. Öl u. Kohle 37 (1941) Nr. 20 S. 353/84*. Wandlung des europäischen Ölverbrauchs. Planvolle Mineralölpolitik in Kontinentaleuropa. Die Mineralölwirtschaft Italiens, Japans, Rumäniens und der Sowjet-Union. Ölfragen im Nahen Osten. Südamerikanische Ölprobleme. Afrikanische Mineralölfragen. Die Erdölhäfen der Welt.

P E R S Ö N L I C H E S

Die Bergreferendare Gerhard Fickler (Bez. Dortmund) und Günther Riedinger (Bez. Breslau) sind zu Bergassessoren ernannt worden.

Der Bergrat Dr.-Ing. Dr. Sieben vom Bergrevier Görlitz ist auf seinen Antrag in den Ruhestand versetzt worden.

Der langjährige Generaldirektor und jetzige Aufsichtsratsvorsitzende der Demag AG., Dr.-Ing. e. h. Wolfgang Reuter, vollendet am 24. Juni das 75. Lebensjahr.

Gestorben:

am 10. Juni in Essen Dr. jur. e. h. Walther Selbach, früherer Direktor des Ruhrtalesperrenvereins, im Alter von 69 Jahren.