Schachtbau- und Schachtbohrtechnik im deutschen Kalibergbau

Werner Arnold †

Bereits am Beginn des 20. Jahrhunderts galt das Abteufen von Schächten im Steinkohlenbergbau mit seinen häufig sehr mächtigen Schichten wassergesättigter, nichtstandfester Sedimente nicht mehr als die hohe Schule der Abteuftechnik. Diese Rolle hatten vielmehr die Kalischächte übernommen[1]. Der Unterschied zwischen Steinkohlen- und Kalischächten liegt in erster Linie darin, dass das Abdichten des wasserführenden Deckgebirges gegen das weitgehend wasserunlösliche Steinkohlengebirge weitaus unkomplizierter ist als bei Kali- und Steinsalzschächten gegen das wasserlösliche Salz. Dabei gab es besonders im norddeutschen Raum, wo häufig Salzdome oder anderweitige Salzaufpressungen anstehen, besondere Schwierigkeiten. Dies lässt sich auch daran erkennen, dass das Abteufen von Kalischächten früher nicht selten 10-15 Jahre dauerte und der Kalibergbau die meisten Schächte aufweist, die ihr Ziel nicht erreichten, weil man sie bereits im Deckgebirge aufgeben musste[2].

Heute gibt es zwar kaum noch solche Verhältnisse, es ist aber dennoch eine Frage der benötigten Zeit, um die geplante Endteufe des Schachtes zu erreichen. Von entscheidendem Einfluss ist dabei, mit welcher Sorgfalt und mit welchem technischen Aufwand vorher die am Schachtansatzpunkt gegebenen hydrogeologischen und geomechanischen Verhältnisse erkundet werden. In dieser Hinsicht ging man in der Vergangenheit oft zu unbekümmert vor.

Ein weiteres Spezifikum für die frühere Schachtbautechnik im Kalibergbau ist darin zu sehen, dass vor dem Ersten Weltkrieg - zumindest im Werra-Revier[3] - fast alle Schächte beim Durchteufen des Plattendolomits ein oder mehrere Male abgesoffen waren. Meistens war ein Betonpfropfen undicht geworden, der als Widerlager für das Herstellen der Zementier-Bohrlöcher eingebracht worden war. Dann war ein zweiter, gelegentlich sogar ein dritter Betonpfropfen erforderlich, um eine hinreichende Dichtigkeit gegen die hochgrädigen Plattendolomit-Wasser zu gewährleisten. Erst diese schafften die Voraussetzungen für ein erfolgreiches Abdichten und Verfestigen der Klüfte des komplizierten Schichtenpakets.

Insgesamt kamen im Kalibergbau vier Spezial-Abteufverfahren in unterschiedlicher Häufigkeit zur Anwendung. Die dabei gewonnenen umfangreichen Erfahrungen werden im folgenden Beitrag schwerpunktmäßig und in ihren wesentlichsten Ergebnissen abgehandelt. Dabei lässt der Verfasser auch persönliche Erfahrungen unter den spezifischen Bedingungen der DDR-Wirtschaft einfließen.

Shaft Sinking and Boring Techniques in the German Potassium Mining Industry

The sinking of shafts for the German potassium industry is one of the most complicated chapters in the history of shaft-sinking technology. Due to the often extremely difficult overburden conditions, various special sinking techniques had to be used. Nevertheless, work was often fraught with setbacks.

It was extremely important to survey the overburden as near as possible to the point where the shaft was to be sunk in order to select the shaft-sinking method and the size of the shaft supports to suit the actual hydro-geological and geomechanical conditions as well as possible.

A total of four special sinking techniques were used in the potassium mining industry to a greater or lesser extent. The following article describes the extensive experience gained with these techniques as well as the major results. The author also recounts his personal experience of conditions in the GDR.

Abb. 1: Karl Gotthelf Kind (1801–1873)

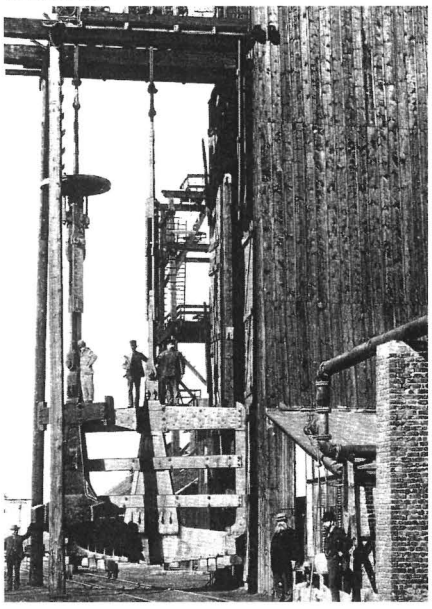
Schachtbohren nach Kind-Chaudron

Das älteste der vier Spezial-Abteufverfahren ist das Schachtbohren, das trotz seiner Unzulänglichkeiten einen der Höhepunkte in der Abteuftechnik des 19. Jahrhunderts darstellt[4] . Einer seiner Erfinder war Karl Gotthelf Kind (1802-1873), ein Bergmannssohn aus dem Freiberger Raum[5] (Abb. 1). Er spezialisierte sich auf die damals noch recht wenig entwickelte Tiefbohrtechnik und wirkte an der Entdeckung der Salzlagerstätten in Thüringen mit. Mit seinem Namen untrennbar verbunden ist der 1842 entwickelte Freifallapparat, der einen wesentlichen Fortschritt für das Tiefbohren und in gleicher Weise für das Bohren mit großen Durchmessern, das Schachtbohren, darstellte. 1848 gelang es Kind, Bohrlöcher von mehr als 4 m Durchmesser herzustellen, eine damals wohl einmalige Leistung (Abb. 2). Es zeigte sich aber bald, dass dieses Verfahren nur dann als gelungen bezeichnet werden kann, wenn die Bohrlöcher auch über einen zuverlässigen und geeigneten Ausbau verfügen. Kinds Bemühungen, dies mit einem hölzernen Ausbau nach dem Prinzip von Fassdauben zu erreichen, misslang.

Erst der Ausbau mit gusseisernen, miteinander verschraubbaren Ringen half in dieser Situation entscheidend weiter. Er wurde von dem jungen belgischen Bergingenieur Joseph Chaudron (1822–1905) entwickelt, den Kind bei einem Bohrauftrag für die belgisch-englische Bergwerksgesellschaft Dahlbusch bei Gelsenkirchen kennen lernte (Abb. 3). Da der Ausbau am unteren Ende einen ausbaubaren eisernen Boden besaß, konnte die Ausbausäule eingeschwommen werden[6] . Voraussetzung war, dass sich in dieser jeweils nur so viel Wasser befand, wie zum Einschwimmen, d.h. zum Absenken in das voll Flüssigkeit stehende Großbohrloch, erforderlich war. Hinzu kam eine andere Konstruktion Chaudrons, um eine erste Abdichtung des Ausbaus gegen das wasserführende Gebirge oberhalb der Bohrlochsohle zu erzielen: die sog. Moosbüchse (Abb. 4). Bei dieser wurde eine Moospackung um den untersten Ausbauring bandagiert, und so wie er sich auf der Bohrlochsohle abgesetzt hatte, folgte der nächste mit etwas größerem Durchmesser. Dieser schob sich über die Moospackung und quetschte sie derart gegen das anstehende Gebirge, dass im Ringraum zwischen Ausbau und Bohrlochwand ein abdichtender Ring gebildet wurde, der abschließend durch Zement-Injektionen fein verdichtet wurde. Es wurden insgesamt 98 Schächte nach diesem Verfahren abgeteuft. Obwohl die meisten Vorhaben unter der Leitung von Joseph Chaudron standen, blieb dieser eigentlich immer etwas im Schatten Kinds.

Nachteile des Kind-Chaudron-Verfahrens waren niedrige Bohrleistungen, bedingt vor allem durch große Störanfälligkeit, besonders häufig durch Gestängebrüche mit zeitraubenden Fangarbeiten. Dennoch war es bei verschiedenen Schächten die einzige Möglichkeit, die Schachtendteufe überhaupt zu erreichen. Eine weitere Einschränkung ergab sich durch die relativ geringen erreichbaren lichten Schachtdurchmesser von 3,5 m. Diese waren nicht durch das Bohrverfahren bedingt, sondern dadurch, dass die voluminösen gusseisernen Ausbauringe nur sehr schwer zu ihrem Einsatzort zu transportieren waren und die Eisenbahn größere Gegenstände nicht befördern konnte.

Abb. 2: Großer Schachtbohrer nach Kind-Chaudron



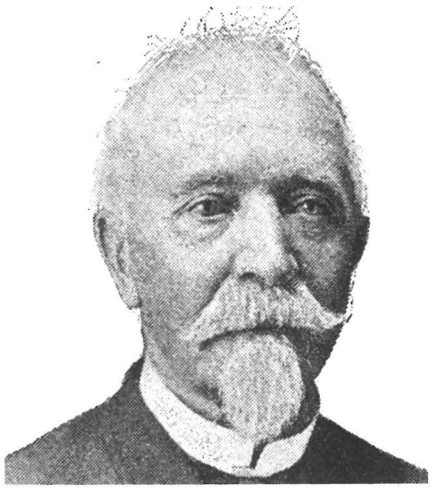
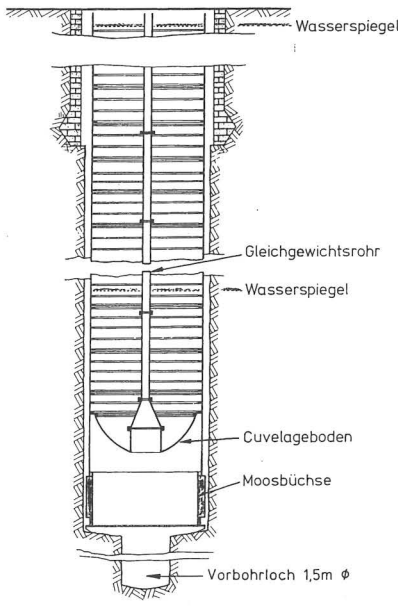


Abb. 3: Joseph Chaudron (1822–1905)

Abb. 4: Schachtausbausäule für Bohrschächte nach Kind-Chaudron mit „falschem" wiederausbaubaren Boden und Moosbüchse



Im Kalibergbau wurde das Schachtbohrverfahren nach Kind-Chaudron beim Niederbringen der Schächte Heringen, Dietlas und Alexandershall im Werra-Revier angewandt. Zuvor hatte sich beim Abteufen des Schachtes Heringen ein katastrophaler Wassereinbruch von schätzungsweise 30 m^3/min ereignet, als der Plattendolomit erreicht wurde. Die Abteufmannschaft konnte sich noch in letzter Minute retten; ein Bergmann verlor sein Leben. Beim Abbohren des Schachtes Dietlas trat ein ganz besonderes Ereignis ein, als Wasser beim Einschwimmen des Ausbaus an einer undichten Stelle in die Ausbausäule drang. Sie wurde dadurch zu schwer und sank unkontrolliert nach unten, wobei die Seilwinden über Tage aus den Fundamenten gerissen wurden. Der Ausbau setzte aber nahezu an der gleichen Stelle auf, wo es ohnehin vorgesehen war, so dass sich der Schaden in Grenzen hielt.

Zementierverfahren

Das Zementierverfahren entstand in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, ohne dass weder das genaue Datum noch der Name des Erfinders oder der Erfinder überliefert zu sein scheinen. Bekannt ist lediglich, dass Zementsuspension zum Abdichten oder Verfestigen oder für beide Zwecke an verschiedenen Objekten zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingesetzt wurde. Das Zementieren des Plattendolomits in einigen Kalischächten an der Werra gehört mit zu den Beispielen, bei denen das Verfahren im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts systematisch und gegen relativ hohe Flüssigkeitsdrücke beim Schachtabteufen angewandt wurde. Voraussetzung für seine erfolgreiche Anwendung ist ein festes, kluftfreies Widerlager entweder in Form einer über dem zu zementierenden Bereich befindlichen geeigneten Gesteinsschicht oder – falls diese nicht vorhanden ist - das Einbringen eines dichten Betonpfropfens auf der Schachtsohle. In jedem Fall sind vor dem Verpressen des Zements verschließbare Standrohre einzubauen, damit ein Ruhezustand für das Abbinden des Zements nach den Injektionsarbeiten gewährleistet ist.

Das Zementierverfahren hat in seiner beinahe 150-jährigen Anwendungsdauer zwar viele Erfolge, jedoch auch nicht wenige Misserfolge aufzuweisen. Sie beruhen aus heutiger Sicht auf folgenden objektiven und subjektiven Ursachen: Beim Zementverpressen weiß man nicht, wie sich die Suspension ausbreitet. Sie bewegt sich immer nach dem geringsten Widerstand und so kann sie sich einerseits auf einer relativ breiten Kluft kilometerweit vom Schacht fortbewegen und andererseits benachbarte, weniger durchlässige, aber in unmittelbarer Schachtnähe befindliche Klüfte unberührt lassen. Obwohl sich die Zementausbreitung in einem gewissen Rahmen steuern lässt, sind diese Möglichkeiten begrenzt, worauf sich zahlreiche Misserfolge zurückführen lassen.

Eine weitere fundamentale Schwierigkeit besteht in der Herstellung von Betonpfropfen in einer solchen Qualität, dass z.B. Schwundrisse oder Schwachstellen im Beton weitgehend vermieden werden. Die zahlreichen Probleme und Rückschläge, die vor allem am Anfang des 20. Jahrhunderts beim Abteufen an der Werra auftraten, beruhten zu einem großen Teil auf einer unzureichenden Beherrschung der Betontechnologie[7] .

Abteufen des Wetterschachtes Marx-Engels in Unterbreizbach

Anfang 1951 wurde ein Abteufobjekt im Werra-Revier mit einem besonderen Schwierigkeitsgrad aktuell, ein Wetterschacht für das Kaliwerk Marx-Engels (früher Sachsen-Weimar) in Unterbreizbach (Rhön). Dieses Werk war der einzige Kalibetrieb, der nur über einen, mit einem Wetterscheider versehenen Schacht verfügte. Die schwierigen Deckgebirgsverhältnisse und die zu erwartenden hohen Kosten hatten die Inangriffnahme des Projekts immer wieder hinausgeschoben, obwohl die Kaliindustrie der DDR durchaus über die notwendigen finanziellen Mittel verfügt hätte. Als die Produktion erheblich gesteigert werden sollte und beim Abbau der Lagerstätte zunehmend schwere Kohlensäure-Ausbrüche auftraten, war es unumgänglich, mit dem Vorhaben zu beginnen.

Der VEB Schachtbau Nordhausen hatte in den ersten Planungen zum Durchteufen des Plattendolomits auch das Einbringen eines Betonpfropfens als Widerlager für die Zementierungsarbeiten vorgesehen. Aufgrund der großen Teufe des Plattendolomits von 610–631 m und der demzufolge anzuwendenden hohen Verpressdrücke wäre nach den damals geltenden Berechnungen eine Betondicke von nahezu 20 m erforderlich gewesen. Aber schon die auftretende Abbindewärme des Betons und die möglichen Rissbildungen bei einem solchen Betonkörper lösten Bedenken aus, ob sich das Vorhaben betontechnisch beherrschen ließ. Um einen solchen dicken Pfropfen zu vermeiden, schlug daher der Verfasser vor, einen aus Segmenten bestehenden Stahlgussboden zu entwickeln und diesen mit der Tübbingsäule, mit den üblichen Dichtungselementen Bleistreifen und Bleiringen zu verschrauben[8]. Diese Technologie (Abb. 5, 6) setzte die Entwicklung spezieller Stutzen voraus, um nach unterschiedlichen Richtungen bohren und zementieren zu können, und es mussten

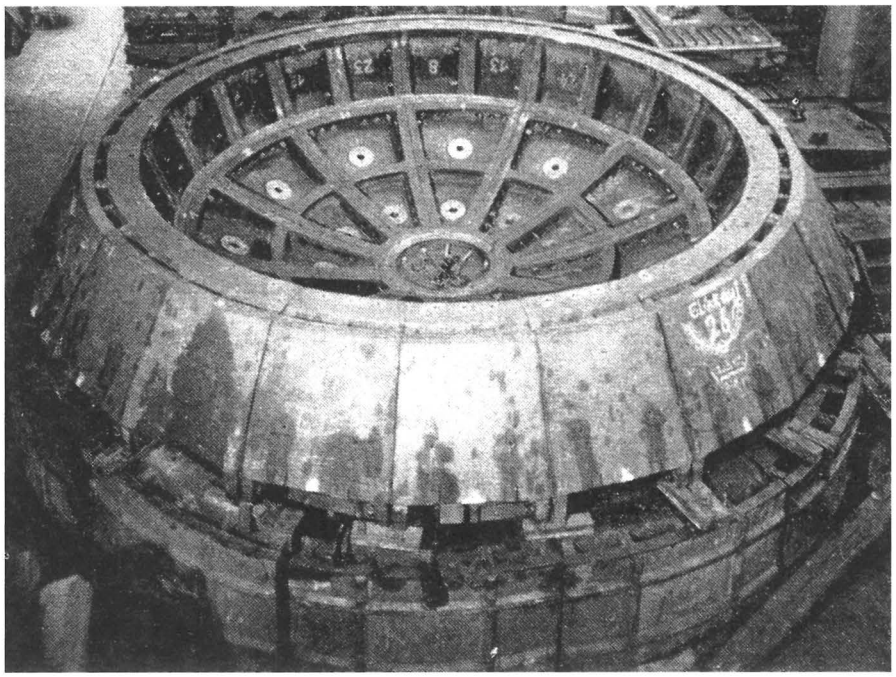


Abb. 5: Stahlgussboden als Widerlagen für das Zementieren des Plattendolomits

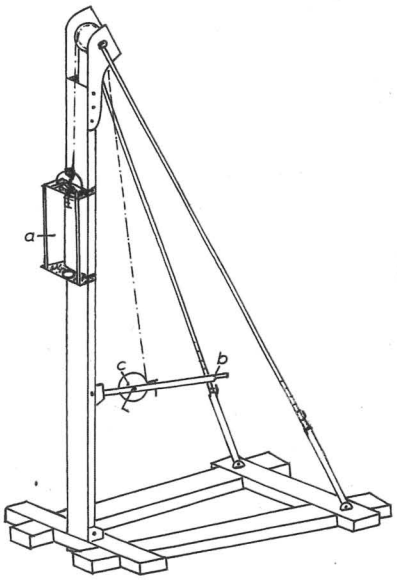


Abb. 7: Verstellbares Bohrgerüst für Zementierbohrungen

Abb. 6: Stahlgussboden mit Betonunterlage (~ 1 m Dicke) im Querschnitt

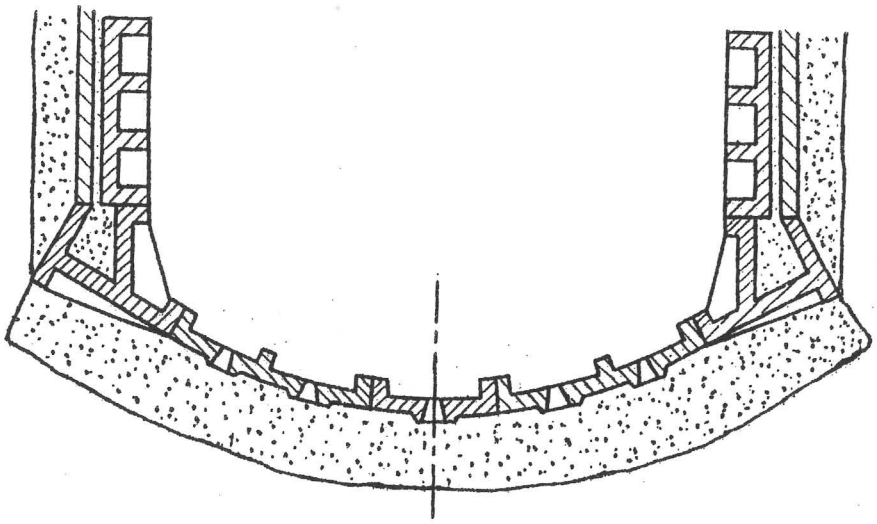
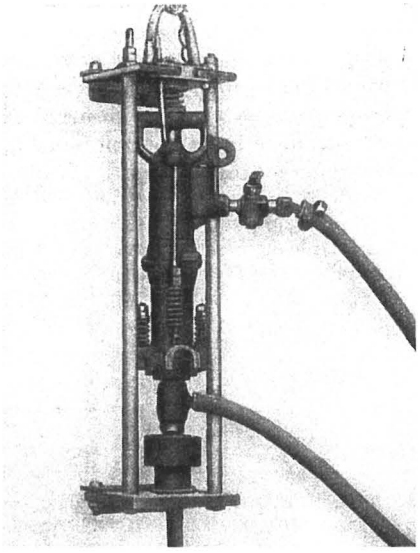


Abb. 8: Bohrhammerkäfig mit Bohrhammer, Schlauchanschlüsse für Druckluft und Spülwasser



Hochdruckhähne entwickelt werden, um die Bohrlöcher nach den Injektionsarbeiten verschließen zu können[9].

Der Ausbau wurde aufgrund einer Vorbohrung projektiert, die mit 160 m relativ weit vom Schachtansatzpunkt entfernt niedergebracht worden war. So sollte vermieden werden, dass das mit hoher Wahrscheinlichkeit anzutreffende Plattendolomit-Wasser in höhere Horizonte aufstieg und dann beim Teufen vorzeitig Probleme bereitete. Beim Abteufen vor allem im Buntsandstein wurden dann verschiedentlich wasserführende Klüfte dort angetroffen, wo in der Vorbohrung die Schichten trocken waren und umgekehrt, so dass mehrfach dort, wo ursprünglich Mauerwerksausbau vorgesehen war, ein nachträglicher Ausbau mit Tübbingen eingebracht werden musste. Die gusseisernen Tübbinge waren gemeinsam mit dem VEB Walzengießerei Coswig bei Dresden normgerecht entwickelt und produziert worden, womit die Legende entkräftet wurde, dass dieser Schachtausbau nur von Gießereien in der Bundesrepublik hergestellt werden könnte.

Der Stahlboden war so konstruiert, dass sich der beim Zementieren auftretende Druck sowohl auf die Tübbingsäule als auch auf das anstehende Gebirge übertrug. Das schwerste Einzelteil, das immerhin in mehr als 600 m Teufe maßgerecht einzubauen war, durfte nicht mehr als 2 t wiegen, weil diese Begrenzung von der Bobinen-Fördermaschine für das Ein- und Aushängen der Teile vorgegeben war. Das Verfahren war insgesamt zeitaufwändig und kostspielig. Im abgeteuften Schachtteil wurde in Abständen von rd. 250 m je eine Pumpenkammer aufgefahren, um bei Wassereinbrüchen die Zuflüsse abpumpen zu können. Unerwartete Ereignisse überraschten nicht:

- Für das Herstellen von Zementier-Bohrlöchern war eine einfache Führung für einen Bohrhammer entwickelt worden, mit dem sich bis zu 30 m lange Bohrlöcher wesentlich schneller herstellen ließen als mit einem Schürfbohrgerät. Beim erstmaligen Anbohren des Plattendolomits zeigte sich dann aber, dass der Gestängestrang nicht hinreichend abgesichert war. Das 17 m lange Bohrgestänge wurde daher herausgeschleudert und wand sich spiralförmig am Schachtausbau nach oben, um anschließend auf die Arbeitsbühne über der Schachtsohle zu stürzen. Glücklicherweise wurde bei diesem Vorfall nur ein Mann leicht verletzt. Dazu kam aber das mit hohem Druck in den Schacht eintretende Plattendolomit-Wasser von ca. 8–10 m^3 pro Minute so lange, bis der Absperrhahn geschlossen war (Abb. 7, 8)[10].
- Auch hier hatte man der beim Zementieren gültigen Regel entsprechend das Wasser zunächst austreten lassen, damit die meist auf Klüften sitzenden Tonbeläge weggespült und die zu zementierenden Klüfte und Spalten „frei" wurden, so dass der eingepresste Zement eine gute und zuverlässige Haftung mit dem Gebirge einging. Dabei füllte sich der Sumpf der unteren Pumpenkammer mehr und mehr mit Gestein an, das mit dem Plattendolomit-Wasser herausgeschleudert worden war und die Funktionsfähigkeit der Pumpenkammer in Frage stellte. Es kam aber noch schlimmer: Die ausgeschleuderten Gesteinsstücke hatten das Küken eines Absperrhahns derart erodiert, dass er undicht wurde und das Verpress-Bohrloch nur abzudichten war, indem ein in aller Eile im Eigenbau hergestellter Packer mit der Last des Förderseils durch das offene Bohrloch gepresst wurde, um es auf diese Weise provisorisch verschließen zu können.
- Ein drittes Problem kam schließlich hinzu, als das nach über Tage gepumpte Plattendolomit-Wasser in einen Bach mit geringer Wasserführung geleitet wurde, der dann in die Werra floss. Das Wasser konnte zwar den ohnehin von der Kaliindustrie stark versalzenen Fluss kaum verschlechtern, aber nun drohte der Stillstand des Kraftwerks, weil das unvermeidlich versalzene Wasser aus dem kleinen Bach für die Speisung der Kessel entnommen wurde. Da der größte Teil des dort hergestellten Kalisalzes für den Export bestimmt war, durfte auf keinen Fall die Produktion eingeschränkt werden.
- Die beinahe gleichzeitig aufgetretenen Probleme konnten dann doch in aller Eile gelöst werden. Das Kaliwerk und der Abteufbetrieb verlegten in einer Tag- und Nacht-Aktion eine mehrere Kilometer lange Wasserleitung entlang des Baches bis vor die Eintrittsstelle der Abteufwässer und entnahm so das Wasser für die Kesselspeisung an einer noch sauberen Stelle[11]. Außerdem konstruierte der Nordhäuser Schachtbaubetrieb einen verbesserten Bohrhammer-Käfig zur zuverlässigen Sicherung des Bohrgestänges beim Anbohren des Wassers, das unter unvermindert hohem Druck des Plattendolomits stand[12].

Das schwierigste Problem brachte aber die Unzulänglichkeit der Absperrhähne mit sich. Sie waren für Zementierdrücke von 100 bar und höher an den Zementier-Bohrlöchern ausgelegt und in Nordhausen im Eigenbau hergestellt worden. In dieser Situation konnte das Kaliwerk als Auftraggeber helfen: Dank der Kaliexporte konnte es an „harte" Devisen gelangen und mit der Salzgitter-Röhren AG in Verbindung treten. Dort wurden innerhalb von Tagen Ölfeldhähne zum Umrüsten der Stahlboden-Armaturen bereitgestellt, die obendrein auf der Embargoliste für strategische Güter standen. Diese entsprachen uneingechränkt den Qualitätsanforderungen. Es wurde darüber hinaus festgelegt, dass die Abschlussarmaturen doppelt zu installieren sind: ein Arbeitshahn, der nach Bedarf geöffnet oder geschlossen wird, und ein Sicherheitshahn darunter, der nur dann geschlossen wird, wenn der Arbeitshahn verschlissen ist und ausgewechselt werden muss. Beim weiteren Zementieren für Schacht Marx-Engels II gab es keine weiteren grundsätzlichen Probleme.

Allerdings zeigte sich, dass einige Klüfte des Plattendolomits derart hochpermeabel waren, dass eine Verpressung von der Schachtsohle aus keinen Erfolg brachte. Man entschied sich daher, die Zement-Injektion über eine Rohrleitung, die mit den Abschlusshähnen auf dem Stahlboden verbunden wurde, von über Tage und nur noch die Feinverpressung von unter Tage durchzuführen. Andererseits wurden auch zahlreiche Zementier-Bohrlöcher niedergebracht, die Zementsuspension von nur wenigen Litern aufnahmen. Wie bei den meisten bis dahin abgeteuften Werra-Schächten wurde nach einem zweiten Laugenhorizont gesucht, der, wie sich beim weiteren Durchteufen des Plattendolomits zeigte, im Schacht nicht vorhanden war.

Nach mehrmonatigem Zementieren erwies sich der Plattendolomit in den nicht oder nur ganz schwach geklüfteten Zonen als ein außerordentlich hartes, festes Gestein. Vorsichtshalber wurde in diesen Bereichen auf Sprengarbeiten verzichtet und bei Abteuf-Fortschritten von nur wenigen Dezimetern pro Tag ausschließlich mit Aufreißhämmern gearbeitet. Nach dem zweiten Ausbau des Stahlbodens brach während der Arbeiten die Schachtsohle mit einem dumpfen Knall auf. Als kurz darauf die Grubenwehr mit Schutzgeräten einfuhr, konnte sie weder einen Laugen- noch einen CO_2-Ausbruch feststellen und es gab nur eine Erklärung für dieses Ereignis: Bei den Zementierarbeiten waren sehr hohe Verpressdrücke angewandt worden, bei denen offensichtlich das Gebirge unter dem Stahlboden in einen hohen Spannungszustand versetzt worden war, der sich beim Weiterteufen durch das Aufbrechen des Gebirges an der Schachtsohle löste[13].

Dennoch hatte es auch einen CO_2-Ausbruch gegeben, denn eine Verbohrung von der Schachtsohle aus ergab, dass die zu durchteufenden Salinarschichten CO_2-haltig waren. Um die Auswirkungen solcher Ausbrüche zu minimieren, wurden von der Schachtsohle aus ein Grossbohrloch von 420 mm Durchmesser bis zur vorgesehenen Endteufe mit einer russischen Maschine niedergebracht und das Schachttiefste mit einer Strecke unterfahren. Damit konnten die losgeschossenen Massen in die Unterfahrungsstrecke abgeführt und im Grubengebäude versetzt werden. Ein dabei auftretender CO_2-Ausbruch hatte aber keine Auswirkungen auf den Schacht, da die schwerere Kohlensäure ebenfalls in die untertägigen Grubenbaue abfloss[14].

Ausgebaut wurde der Schacht in den wasserführenden Bereichen mit gusseisernen deutschen Tübbingen. Für die unteren Bereiche, vor allem im Plattendolomit, reichte einem Gutachten zufolge eine einfache Tübbingsäule nicht aus, weshalb zwei Säulen hintereinander eingebaut werden sollten. Hierfür schlug der Autor vor, beide Säulen durch Stege miteinander zu verbinden und damit auch konkretere Grundlagen für die Lastverteilung bei der statischen Berechnung zu gewinnen. Allerdings konnten diese „Doppeltübbinge" nur in 1 m Höhe abgegossen werden. Der Stahlboden war vom VEB Schwermaschinenbau Magdeburg abgegossen und ebenfalls in Coswig bearbeitet worden.

Das Abteufen auch dieses Schachtes dauerte mehr als sechs Jahre. Bei einer kritischen Analyse ist festzustellen,

dass sowohl Zeitaufwand als auch Kosten niedriger hätten gehalten werden können. Die Vorbohrung zum Erkunden des Gebirgsprofils für das Projektieren des Schachtausbaus war in allzu großer Entfernung vom Schachtansatzpunkt angesetzt worden, so dass dann beim Abteufen erheblich andere Gebirgsverhältnisse angetroffen wurden. Der VEB Geologische Bohrungen Halle, der die Erkundungsbohrung niedergebracht hatte, zeigte sich nicht imstande, eine zuverlässige und dichte Bohrloch-Verfüllung zu garantieren, während in der westlichen Erdölindustrie schon längst übliche Packerkonstruktionen, die bestimmte Horizonte in einem Bohrloch gegeneinander zuverlässig abdichten können, nicht zur Verfügung standen.

Auch die Detailuntersuchungen des Plattendolomits hätten durch Kernbohrungen intensiver erfolgen müssen, so dass die Kluftzonen vor dem Zementieren genauer bekannt gewesen wären. Zu dieser Zeit gab es jedoch in der DDR weder hochwertige Diamant-Bohrkronen noch moderne Kernrohre für derartige Aufgaben. Gerade hiervon hing jedoch die Projektierung der Zementierarbeiten entscheidend ab.

Einen wirklichen Fortschritt gegenüber früheren Technologien bildete dagegen die Verwendung eines Stahlbodens statt eines Betonpfropfens und auch die Entwicklung von Doppeltübbingen war in mehrfacher Hinsicht günstiger als der Einbau zweier voneinander getrennter Säulen.

Abb. 9: Friedrich H. Poetsch (1842–1902)

Abb. 10: Louis Gebhardt (1861–1924)

Das Gefrierverfahren

Das 1883 von Friedrich Hermann Poetsch, einem Absolventen der Bergakademie Freiberg (Abb. 9), erfundene Gefrierverfahren ist bis heute dasjenige Spezial-Abteufverfahren geblieben, das hinsichtlich Schachtteufe und -durchmesser sowie geologischer und hydrogeologischer Verhältnisse im Bergbau universell anwendbar ist. Allerdings bedurfte es langer Zeit, bis die technischen, technologischen und physikalischen Grundlagen so weit erforscht und entwickelt waren, dass von einer wirklichen Betriebsreife gesprochen werden konnte.

Es fehlte zunächst an Voraussetzungen, um Bohrlöcher mit der erforderlichen Richtungsgenauigkeit herzustellen und Abweichungen exakt zu messen, Gesetzmäßigkeiten über den Wärmeaustausch in den zu gefrierenden Gebirgsschichten zu kennen und die erforderlichen Frostwanddicken zuverlässig zu berechnen. Außerdem waren die seinerzeit hergestellten Kältemaschinen nur bedingt betriebssicher, um das Aufrechterhalten von Frostkörpern über Monate, teilweise über Jahre zu gewährleisten.

Friedrich Hermann Poetsch hatte alle diese Probleme unterschätzt. Nach Anfangserfolgen ging er mit seinem Unternehmen in Konkurs und starb arm und enttäuscht 1902 in Dresden[15] . Auch seinem früheren Mitarbeiter Louis Gebhardt (Abb. 10) erging es nicht viel anders, der das Gefrierverfahren bis zur zuverlässigen Anwendbarkeit maßgeblich weiterentwickelt hatte. Nachdem er einen Spezialbetrieb in Nordhausen gegründet hatte, der im Laufe weniger Jahrzehnte Weltruf erlangte und die meisten Gefrierschächte in Europa abteufte[16], musste auch er schließlich bittere Rückschläge hinnehmen, die ihn praktisch sein Vermögen kosteten. Gebhardt wollte in Mecklenburg eine Lagerstätte für die Gewinnung von Braunkohle im Tiefbau aufschließen. Das Abteufen von zwei Gefrierschächten gelang zwar, doch beim Ausbruch in das ungefrorene, wasserreiche Gebirge soffen beide Schächte ab und damit war das Objekt gescheitert.

Für Kalischächte konnte das Gefrierverfahren allerdings auch dann nicht vorbehaltlos angewandt werden, wenn oberhalb des wasserfreien Gebirges Schichten mit laugeführenden Horizonten anstanden, wie dies im Bereich von Salzaufpressungen in Norddeutschland, teilweise auch in Niederschlesien und Mecklenburg, der Fall war. Für solche Verhältnisse musste das Verfahren zum sog. Tiefkälteverfahren weiterentwickelt werden, d.h. der Kälteträger musste auf Temperaturen von mindestens -40° abgekühlt werden, damit auch hochgrädige Salzlaugen mit eingefroren werden konnten. Als Kältemittel wurde für solche Fälle CO_2 gewählt[17]. Besondere Gefahrenherde bildeten dabei die Gefrierrohre, die das wasser- bzw. laugeführende Deckgebirge mit dem wasserfreien Salzgebirge verbinden mussten, wobei im Zuge des Auftauens des Frostkörpers gefährliche Situationen entstanden, die Schächte zum Absaufen bringen konnten.

Abteufen von Schacht Hansa III in Empelde

Der Schacht Hansa III in Empelde bei Ronnenberg (Niedersachsen) ist ein gutes Beispiel dafür[18]. Er war Mitte der dreißiger Jahre auf einem Salzdom im Tiefkälteverfahren abgeteuft worden, bei dem der sog. Salzspiegel, eine besonders laugeführende, gebräche Zone am Top der Salzaufpressung, intensiv ausgebildet war. Die Abteufarbeiten und der Ausbau des Schachtes in gusseisernen Tüblingen verliefen relativ planmäßig, wenngleich beim Herstellen der Gefrierbohrlöcher festgestellt werden musste, dass das Gebirge besonders in Gipsschichten sehr klüftig und gestört war, so dass es teilweise zu totalen Spülungsverlusten und zu großen Bohrlochabweichungen gekommen war. Nachdem der Schacht als sicher ausgebaut galt, wenn auch das Nachdichten des Betons und das Verstemmen

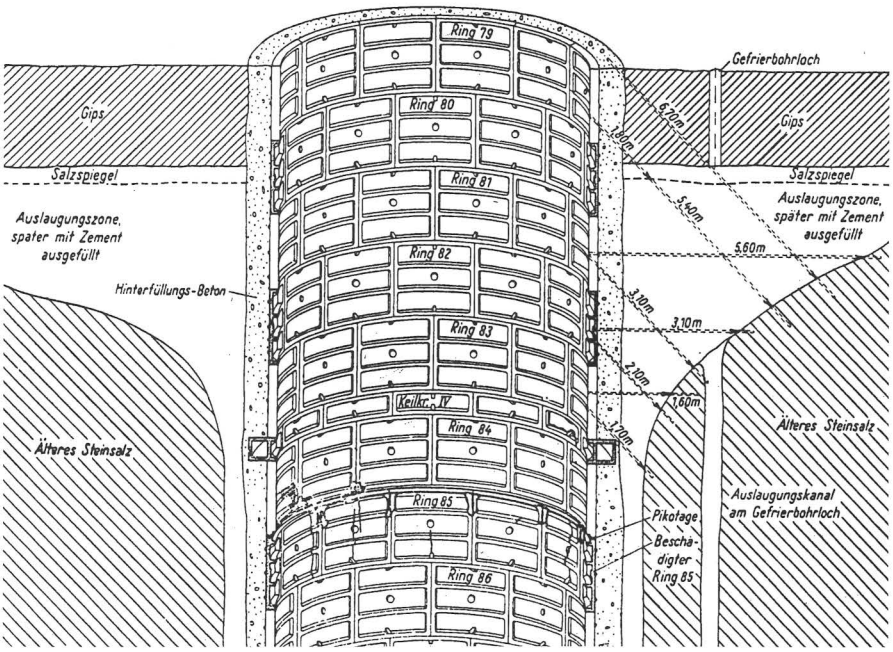


Abb. 11: Schnitt durch den Schacht Hansa III am Salzspiegel - Auslaugung des Salzgebirges sowie Zerstörungen am Tübbingring 85 und am Keilkranz IV

der Tübbingfugen noch nicht hinreichend erfolgt waren, wurden der Gefrierprozess beendet und die Gefrieranlage entleert. Beim Auftauen der Frostwand zeigten sich an verschiedenen Stellen Undichtigkeiten, die zunächst nur wenige Liter pro Minute betrugen, nach zwei Tagen aber auf mehr als 1 m^3/min anstiegen und ständig zunahmen. Schließlich waren innerhalb weniger Stunden mehrere 10 000 m^3 Wasser in den Schacht eingedrungen. Der Schacht war praktisch abgesoffen.

Da die Gefrieranlage bereits entleert war, konnte auch der Gefrierprozess nicht unmittelbar wieder aufgenommen werden. Es entstand ein umfangreicher Streit, bei dem der Auftraggeber dem Schachtbaubetrieb vorwarf, mehrere grundsätzliche Fehler begangen zu haben, die das verheerende Absaufen des Schachtes mit hohen wirtschaftlichen Schäden ausgelöst hätten.

Durch die Kriegsereignisse beließ man den Schacht für eine Reihe von Jahren im abgesoffenen Zustand, und erst Anfang der fünfziger Jahre begannen das Aufwältigen und Sanieren. Im Prinzip wurde der Schacht nicht wieder eingefroren, sondern die Aufwältigung erfolgte durch Einbringen von mehreren Betonpfropfen in den abgesoffenen Schachtteil. Von diesen aus wurden systematisch das Gebirge sowie die Betonhinterfüllung hinter der Tübbingsäule zementiert. Dabei mussten teilweise große Zementmengen verpresst und eine große Anzahl von Bohrlöchern durch die Tübbinge gebohrt werden, die teilweise 8–10-mal zu verpressen waren. Beim Absaufen des Schachtes waren im Salzgebirge große, teilweise schlotternförmige Hohlräume ausgewaschen worden (Abb. 11). Insgesamt wurden 1800 t Zement verschiedener Sorten verpresst.

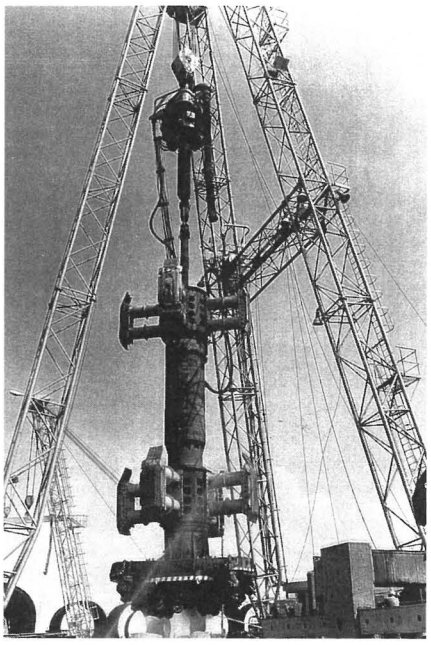
Die Sanierungsarbeiten nahmen 38 Monate in Anspruch und sie dürfen als eine der umfangreichsten, aber erfolgreichen Reparaturarbeiten an einem Kalischacht angesehen werden. Dabei mussten auch mehrere gebrochene Tübbingssegmente gesichert werden. Schacht Hansa III zeigte, dass bei Kalischächten mit den dargestellten geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen allerhöchste Gefahren entstehen, wenn sich beim Auftauen des Frostkörpers Undichtigkeiten am Ausbau zeigen und wenn sie infolge der Wasserlöslichkeit des Salzes nicht sofort beseitigt werden. Das gesicherte Durchteufen von Salzdomen mit einem sog. Salzspiegel zählt bis heute zu den schwierigsten Aufgaben, die einem Abteufbergmann begegnen können.

Das Rotary-Schachtbohren

Während das Schachtbohren nach Kind-Chaudron das erste Spezial-Abteufverfahren war, das beim Niederbringen von Kalischächten eingesetzt wurde, ist das Schachtbohren unter Anwendung des Rotary-Verfahrens das jüngste und modernste. In den letzten Jahrzehnten kam es in mehreren Fällen erfolgreich zur Anwendung.

Bei dem vom VEB Schachtbau in Nordhausen entwickelten, gebauten und betriebenen Großloch-Bohrgerät wurden wesentliche Entwicklungsergebnisse der Erdölbohrtechnik angewandt und für das Bohren mit großen Durchmessern weiterentwickelt. Nachdem kein größerer Bedarf an großen Kalischächten, wohl aber bei den sich ausdehnenden Grubenfeldern Wetterschächte notwendig waren, wurden die Bohrschächte für lichte Durchmesser von 2-5,7 m ausgelegt. Eine besonders moderne Entwicklung bildete die sog. Nachlassregelung: Bei kontinuierlicher Messung der Zugkraft und des Drehmoments im Bohrgestänge erfolgte die Steuerung so, dass die effektive Vergleichsspannung immer der zulässigen Vergleichsspannung entsprach. Dieses Vorgehen ergab eine ständige optimale Beanspruchung des Bohrstrangs bei der Gestaltung des Bohrregimes (Druck auf den Großloch-Bohrmeißel durch den Bohrstrang und durch sog. Schwerstangen, Drehzahl und Drehmoment durch den Bohrstrang auf den Bohrmeißel). Die Konstruktion des Bohrstrang-Antriebs erfolgte über einen Kraftspülkopf, der von drei Gleichstrommotoren angetrieben wurde. Die

Abb. 12: Bohrstrang einer modernen Rotary-Schachtbohranlage mit Großloch-Rollenmeißeln und Kufenstabilisatoren



Stabilisierung des Bohrstrangs gewährleisteten mehrere Kufenstabilisatoren, die nicht mitrotierten (Abb. 12, 13).

Sämtliche Ausrüstungsteile wurden durch den Schachtbaubetrieb selbst hergestellt bzw. beschafft. Lediglich die Rollen für den Großlochmeißel wurden, obwohl sie auf der Embargoliste für strategische Güter standen, importiert, da die Stahlindustrie der DDR nicht in der Lage war, die notwendigen Hartmetallqualitäten für die Meißelzähne bereitzustellen. Mit dem Gerät konnten Bohrloch-Durchmesser von 6500 mm und -teufen bis 700 m erzielt werden[19] .

Als Schachtausbau-Material verwendete man Stahl der Qualität H und für die Dimensionierung des Ausbaus wurden modernere Verfahren entwickelt bei geringerer Wahl des Sicherheitsbeiwertes, so dass die Ausbauwanddicken in Bereichen von 12-30 mm lagen. Sie wurden für größere Teufen doppelwandig ausgeführt und waren durch Stege verbunden. Die Sicherheits-Beiwerte gegen Einbeulen lagen in Größenordnungen < 3. Insgesamt gesehen konnte das im Laufe der Zeit mehrfach verbesserte und weiterentwickelte Gerät tatsächlich als das modernste im Weltmaßstab gelten.

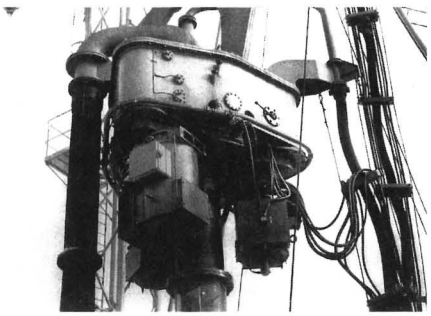


Abb. 13: Kraftspülkopf einer modernen Rotary-Schachtbohranlage mit 3 60-kw-Gleichstrommotoren

Zusammenfassung

Im jüngsten Bergbauzweig, dem Kali- und Steinsalzbergbau, ist die Gewinnung zweifellos angenehmer und unkomplizierter als etwa in der Steinkohle oder im Kupferschiefer, gleichwohl ist sie nicht absolut problemlos. Beim Aufschluss der Lagerstätten, vor allem beim Schachtabteufen, können Schwierigkeiten auftreten, die zu den kompliziertesten in der gesamten Abteuftechnik zählen. Erfahrungen mit der Kali- und Steinsalzgewinnung in Deutschland während rd. anderthalb Jahrhunderten zeigen, dass die Technik des Schachtabteufens durch die Kaliunternehmen selbst maßgeblich weiterentwickelt werden musste. Bei den in der DDR durchzuführenden Abteufarbeiten konnten Produkte von Bergbauzulieferern in der Bundesrepublik aus Devisengründen nahezu nicht in Anspruch genommen werden. Der VEB Schachtbau in Nordhausen sah sich dennoch in der Situation, dass eine Anzahl begabter und kreativer Ingenieure die Aufgaben mit Erfolg löste und teilweise Entwicklungen erzielte, die einen beträchtlichen technischen Fortschritt bedeuteten[20] .

Es wäre notwendig und wünschenswert, die umfangreichen Erkenntnisse und Erfahrungen in der Abteuftechnik insbesondere des Kalibergbaus hinreichend zu dokumentieren, solange diejenigen, die sie selbst erlebt und gestaltet haben, noch dazu in der Lage sind. Sie dürfen mit zu den größten Leistungen zählen, die im deutschen Bergbau vollbracht worden sind.

Anmerkungen

1 Riemer 1905 S. 14 f.
2 Spackeler 1957, S. 66 ff.
3 Krull 1914.
4 Eisenbach/Paulinyi 1998, S. 55.
5 Hoffmann 1959, S. 25; Arnold 1997, S. 7 ff.
6 Hoffmann 1959, S. 25.
7 Krull 1914, S. 235 f.
8 Ausführlich hierzu Arnold 1963, S. 511-523,
9 Ebd., S. 518 ff.
10 Bühring 1967.
11 Arnold 1963, S. 514.
12 Bühring 1967, S. 23.
13 Arnold 1963, S. 511.
14 Ebd., S. 519.
15 Hoffmann 1962, S. 59.
16 Gebhardt 1911, S. 108 ff.
17 Spackeler 1957, S. 71, und Gimm 1968, S. 278 ff., beschreiben solche Fälle, die teilweise von zeitraubenden Rückschlägen begleitet waren.
18 Ebeling 1954, S. 3 ff.
19 Trömel 1976; Mallis/Matzenauer 1983; Laue u.a. 1991.
20 Arnold/Donel 1998.

Bibliographie

ARNOLD, Werner:
1963 Erfahrungen und Erkenntnisse beim Abteufen von Schächten im Werra-Kalirevier. In: Bergakademie 1963, S. 511-525.
1997 Karl Gotthelf Kind – Friedrich Hermann Poetsch und ihre Leistungen bei schwierigen Lagerstättenaufschlüssen im 19. Jahrhundert, in: Beiträge zur Geschichte von Bergbau, Geologie und Denkmalschutz. Festschrift zum 70. Geburtstag von Otfried Wagenbreth, Freiberg 1997, S. 7-12.
ARNOLD, Werner/DONEL, Manfred:
1998 Die Entwicklung des Nordhäuser Schachtbauunternehmens Gebhardt und Koenig und Deutsche Schachtbau AG von ihrer Gründung bis 1990, in: Festschrift anlässlich des 100. Bestehens, Nordhausen 1998, S. 27–56.
BÜHRIG, Kurt:
1967 Das Abteufen des Schachtes Marx-Engels II, in: Kalimitteilungen 1967, S. 3-28.
EBELING, Viktor:
1954 Das Abteufen, Versaufen und Wiederaufwältigen des Schachtes III des Kaliwerkes Hansa zu Empelde und die daraus für das Abteufen von Salzschächten zu ziehenden Lehren. In: Kali und Steinsalz 1954, H. 4, S. 3-19.
EISENBACH, Ulrich/PAULINYI, Akos:
1998 Die Kaliindustrie an Werra und Fulda, Darmstadt 1998.
GEBHARDT, Louis:
1911 Die Anwendung des Gefrierverfahrens zum Abteufen von Schächten, Baugruben und Fundamenten aller Art in schwimmendem und wasserreichem Gebirge, in: Festschrift zur 25. internationalen Wanderversammlung der Bohringenieure und Bohrtechniker, Budapest 1911, S. 108-122.
GIMM, Werner:
1968 Kali- und Steinsalzbergbau, Bd 1. Leipzig 1968.
HOFFMANN, Dietrich:
1959 150 Jahre Tiefbohrungen in Deutschland, Essen 1959.
1962 Acht Jahrzehnte Gefrierverfahren nach Poetsch, Essen 1962.
KRULL, Otto:
1914 Schachtbau im Thüringer Plattendolomit, in: Kali 1914, S. 211-218 und S. 233-239.
LAUE, Hans-Joachim u.a.:
1991 Zwanzig Jahre Schachtbohren der Schachtbau Nordhausen GmbH, in: Glückauf 127, 1991, S. 465-469.
MALLIS, Ullrich/MATZENAUER, Otto:
1983 Mikrorechnereinsatz beim Rotary-Schachtbohren, in: Neue Bergbautechnik 13, 1983, S. 602-605.
RIEMER, Johann:
1905 Das Schachtabteufen in schwierigen Fällen, Freiberg 1905.
SPACKELER, Georg:
1957 Lehrbuch des Kali- und Steinsalzbergbaues, Halle 1957.
TRÖMEL, Günther:
1976 Neuartiger Bohrstrangantrieb beim Schachtbohren, in: Technische Mitteilungen des Mansfeld-Kombinates 1976, Nr. 6, S. 26-28.

Der Verfasser dankt seinem langjährigen Freund und Studienkollegen Bergwerksdirektor i. R. Dipl.-Ing. Wolfgang Meuskens, Hildesheim, für wertvolle Unterstützung und Bildmaterial bei der Darstellung des Schachtbohrverfahrens nach Kind-Chaudron.