

Paper-ID: VGI_192512



Das Schachtlotproblem

Paul Wilski ¹

¹ o. Professor an der Techn. Hochschule in Aachen

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **23** (5), S. 84–90

1925

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Wilski_VGI_192512,  
Title = {Das Schachtlotproblem},  
Author = {Wilski, Paul},  
Journal = {{\u00sterreichische Zeitschrift f{\u00r Vermessungswesen},  
Pages = {84--90},  
Number = {5},  
Year = {1925},  
Volume = {23}  
}
```



Das Schachtlotproblem.¹⁾

Von Prof. Dr. P. W i l s k i.

Die Schachtlotung ist ein Meßverfahren, das dem Zwecke dient, die Messungen im Innern der Bergwerke in Zusammenhang zu bringen mit den Messungen über Tage. Man hängt an zwei Drähten zwei schwere Lote in einen Schacht. Die Ebene, in welcher die beiden Drähte hängen, nennt man die Lotebene. Es ist bei dem Stande der heutigen Instrumententechnik ein Leichtes — falls alles gut funktioniert —, den Winkel, den die Lotebene über Tage mit einer Seite des Landesdreiecksnetzes bildet, bis auf etwa 10'' bis 15'' genau zu bestimmen. Und ebenfalls ist es ein Leichtes, die Lage der beiden Lotdrähte in bezug auf die Gegenstände über Tage so genau zu bestimmen, wie es die praktischen Bedürfnisse des Bergbaues erfordern, d. h. auf etwa 2—5 *cm* genau.

Unter Tage sieht man die Lotebene gewissermaßen körperlich in das Bergwerk hineinhängen und man kann daher die Messungen unter Tage unmittelbar an sie anschließen.

Der Messungsvorgang sieht also zunächst einfach aus. Dennoch bildet die Schachtlotung noch heutzutage eines der verwickeltesten Probleme der bergmännischen Vermessungskunst überhaupt. Doch haben wir, indem wir dies aussprechen, allerdings nur Lotungstiefen — also Längen der Drähte — von etwa 300 *m* und mehr im Sinne. Bei kleineren Lotungstiefen ist die Aufgabe in der Tat so einfach, daß sie kein besonderes wissenschaftliches Interesse in Anspruch nimmt. Denn bei Längen bis zu etwa 300 *m* werden die Lotdrähte wohl immer ruhig hängen und — worauf es hauptsächlich ankommt — auch hinreichend genau lotrecht hängen, wenn man die Lotgewichte einigermaßen schwer wählt. Und dann ist der Messungsvorgang allerdings einfach und führt ohne weiteres zu Ergebnissen, die dem praktischen Bedürfnis des Bergbaues entsprechen. Aber bei größeren Tiefen hängen die Lotdrähte nicht ruhig, sondern pendeln hin und her. Dann kann man natürlich — etwa wie bei feinen Wägungen — die Schwingungen an geeignet aufgestellten Skalen messen und danach die Ruhelage der Drähte durch Rechnung feststellen, wie das seit 1882 üblich geworden ist. Aber von den auf diese Weise errechneten Ruhelagen der Drähte kann man leider nicht ohne weiteres annehmen, daß man Punkte erhält, die lotrecht unter den Aufhängepunkten der Drähte liegen. Sie liegen vielmehr sicherlich in vielen Fällen um mehrere Zentimeter seitlich von der lotrechten Projektion der Aufhängepunkte²⁾.

Denn bei größerer Länge des durchloteten Schachtes macht sich der Umstand geltend, daß die Schächte der Bergwerke in der Regel von einem Wetterstrom durchflutet werden, der sich vermutlich zumeist in Schraubengängen durch den Schacht hindurchwindet, also einen Seitendruck auf die

¹⁾ Erweiterter Abdruck aus der Festschrift der Bergmännischen Vereinigung zu Aachen zur Jahrtausendfeier 1925.

²⁾ Hiermit hängt es zusammen, daß die Markscheider oftmals bei ihren Lotungen unter Tage einen andern Lotabstand erhalten, als sie über Tage durch ihre Messung festgestellt hatten.

Lotdrähte ausübt, der, solange die Wetterstromstärke sich nicht ändert, von oben bis unten annähernd die gleiche Richtung und Stärke hat³⁾. Bei einer Lotungstiefe von 1000 *m* und einem Drahtkaliber von 3 *mm* ergibt sich für diesen Seitendruck des Wetterstroms eine Angriffsfläche von insgesamt 3 *qm*. Wenn man also die an die Lotdrähte angehängten Lotgewichte in Wasser tauchen wollte oder etwa zur Lotung ein Schutzzelt um sie herumbauen wollte, so würde man dem Wetterstrom die bedeutende Angriffsfläche, die der Draht in seiner großen Länge darbietet, dadurch nicht entziehen. Der erzielte Nutzen wäre also kaum die Umständlichkeiten wert, die man sich um seinetwillen auferlegt haben würde.

Für den schachtlotenden Markscheider entsteht also zunächst eine etwas schwierige Aufgabe: über Tage sind zwar alle Messungen leicht und einfach; aber unter Tage führt selbst die allersorgfältigste Beobachtung von Schwingungsausschlägen schließlich auf Punkte, die nicht lotrecht unter den Aufhängepunkten liegen. Die Drähte sind durch den Wetterstrom abgetrieben. Man spricht von einer „Abtrift des Schachtlots durch den Wetterstrom“ und meint damit — etwa in Millimetern ausgedrückt — das Stück, um welches die aus den Schwingungsbeobachtungen errechnete Ruhelage eines Drahtes seitwärts liegt von der zunächst noch unbekanntem lotrechten Projektion des Aufhängepunktes. Es entsteht also die recht heikel anmutende Frage: Wie kann man Größe und Richtung dieser Abtrift ermitteln, ohne umständliche und schwierige Beobachtungen über die Bewegung des Wetterstromes anstellen zu müssen? Eigentümlicherweise läßt sich aber die schwer lösbar aussehende Frage kinderleicht lösen. Dem Seitendruck, den der Wetterstrom auf den Draht ausübt, entspricht natürlich immer die gleiche Arbeit, ob man z. B. 8 Zentner an den Draht hängt oder 4 Zentner. Folglich werden 8 Zentner nur halb so weit abgetrieben als 4 Zentner. Und daraus ergibt sich ohne weiteres folgendes: Bei 4 Zentner Last ergebe sich aus den Schwingungsbeobachtungen die Ruhelage des Drahtes bei *A*; entsprechend erhalte man bei 8 Zentner Last aus den Schwingungsbeobachtungen die Ruhelage des Drahtes bei *B*. Verlängert man dann *AB* über *B* hinaus um sich selbst, so erhalte man Punkt *C*. Dann liegt *C* offenbar lotrecht unter dem Aufhängepunkt des Drahtes.

Hiermit scheint das Schachtlotproblem restlos gelöst zu sein. Allein bei der praktischen Ausführung steht man sogleich vor einer neuen Schwierigkeit: Wenn man bei einem hin und her pendelnden Schachtlotdraht die Umkehren links und rechts an einer Skala beobachtet, so merkt man bald, daß die Umkehren nicht, wie bei feinen Wägungen unter einer Glasglocke, schön regelmäßig erfolgen, sondern merkwürdige Unregelmäßigkeiten — bei 8 Zentnern Lotgewicht 2 *mm* und mehr — treten auf. So große Ausquerungen der Drähte scheinen zunächst den ganzen Erfolg der Schachtlotung in Frage zu stellen. Wenn man diese Unregelmäßigkeiten hinausbringen will, muß man zunächst ins Klare darüber kommen, woher sie stammen. Eine Ursache liegt auf der Hand:

³⁾ Diese Vorstellung folgt aus Messungen des Markscheiders W. Bischoff in Dortmund, die dieser in der Zeitschrift Glückauf, Nummer vom 17. Mai, 1919 veröffentlicht hat.

Wenn man das Lot in Schwingungen versetzt, so entstehen dabei Oberschwingungen, gewissermaßen Obertöne der Hauptschwingung und diese Oberschwingungen laufen am Draht auf- und abwärts. Kommt ein Schwingungsbauch gerade zur Unzeit am unteren Ende des Drahtes an, so kann er bewirken, daß die Umkehr etwas zu früh oder etwas zu spät eintrifft, die Schwingungsweite also etwas verkleinert oder etwas vergrößert wird. Aber Herr E. Trefftz in Dresden hat nachgewiesen, daß die Energie, die zur Erzeugung dieser Oberschwingungen verwendet wird, sich rasch verbraucht und übereinstimmend damit zeigt die Erfahrung, daß die großen Unregelmäßigkeiten, welche nach Ingangsetzen des Pendels aufzutreten pflegen, schon nach den ersten 4–6 Umkehren verschwunden sind.

Es ergibt sich also die praktische Regel: Die ersten 4–6 Umkehren des Schachtlotdrahtes läßt man vorbeigehen, ohne sie für die Feststellung der Ruhelage des Drahtes zu benutzen.

Aber auch bei den späteren Schwingungen treten merkwürdige Unregelmäßigkeiten bis zu 2–3 mm auf, die sehr überraschend wirken, solange man auf ihre Ursache noch nicht aufmerksam geworden ist. Im Jahre 1921 hat aber gelegentlich einer Schachtlotung, die auf dem Eisen- und Stahlwerk Hösch in Dortmund stattfand, ein Markscheiderkandidat namens Lichtenhagen eine Ursache dieser merkwürdigen Störungen entdeckt. Hat man sich von dieser Ursache der Störungen überzeugt, so erscheint sie einem hinterher allerdings so naheliegend, daß man sich wundert, wie sie so lange verborgen bleiben konnte. Wird nämlich während der Schwingungsbeobachtungen im Nachbarschacht gefahren, der vielleicht nur 100 m entfernt ist, so entsteht durch die Fahrung eine so gewaltige Beunruhigung des unterirdischen Luftmeeres, daß die Lote sofort ausqueren.

Es ergibt sich daher die zweite praktische Regel: Während der Schwingungsbeobachtungen soll im Nachbarschacht möglichst gar nicht gefahren werden. Läßt sich Fahrung aber nicht vermeiden, so sollen die Schwingungen, die infolge der Fahrung gestört erscheinen, zur Berechnung der Ruhelage des Drahtes nicht verwendet werden.

Wenn man nun aber die angegebenen zwei praktischen Regeln auch befolgt, so bleiben trotz alledem in dem Schwingungsvorgang noch eine Anzahl unbequemer Unregelmäßigkeiten bestehen. Auch in diese Unregelmäßigkeiten ist durch eine Untersuchung von E. Fox etwas Licht gekommen (Mitt. a. d. Markscheidewesen 1924, Seite 8 ff.). Fox weist nach, daß den Pendelschwingungen des Schachtlots gelegentlich auch solche Nebenschwingungen aufgelagert sind, welche keineswegs mit der Zeit verschwinden. Sondern sie bleiben im wesentlichen in gleichbleibender Stärke erhalten. Fox erklärt sich diese dauernd gleich stark bleibenden Nebenschwingungen dadurch, daß „der Wetterstrom beständig über den Lotdraht hinstreicht wie der Fiedelbogen über die Geigensaite“ und dadurch zur Ursache der sich fortwährend von neuem erzeugenden Oberschwingungen wird.

Fox zeigt nun, wie man das Lotungsergebnis von dem schädlichen Einfluß dieser Oberschwingungen freihalten kann, wenn man das Drahtgewicht D und das Gewicht L der an den Draht angehängten Last in die Beziehung bringt:

$$L = \left(\frac{n^2}{\pi^2} + \frac{1}{18} \right) D$$

wobei n eine beliebige ungerade Zahl bedeutet. Für das Drahtgewicht 0.67 Zentner, wie es sich bei 700 m Tiefe und 3 mm Drahtkaliber ergibt, kann man z. B. setzen:

$$n = 11 \quad n = 9 \quad n = 7$$

und erhält als zugehörige Lasten:

$$L = 8.3 \quad L = 5.6 \quad L = 3.4$$

Allein die Formel setzt immerhin voraus, daß der Lotdraht von oben bis unten aus einem einzigen Stück besteht. Die Fornsche Beziehung gilt also nicht, wenn mehrere Drahtstücke vermittels Kauschen, also flexibler Stellen aneinandergeschaltet sind.

Man wird sich daher zumeist damit begnügen müssen, den schädlichen Einfluß der Schwingungsunregelmäßigkeiten durch Rechnung auf ein möglichst geringes Maß zu beschränken. Derartige Rechnungen sind eine Aufgabe der Methode der kleinsten Quadrate. Man verfährt dabei folgendermaßen: Statt mit zwei Gewichten, also etwa 8 Zentner und 4 Zentner, lotet man noch mit einem dritten Gewicht, etwa 6 Zentner. Den Punkt C , von dem oben gesprochen wurde, lotrecht unter dem Aufhängepunkt, kann man dann auf dreierlei Weise berechnen:

1. aus der 8 Zentner- und der 6 Zentner-Lotung,
2. aus der 8 Zentner- und der 4 Zentner-Lotung,
3. aus der 6 Zentner- und der 4 Zentner-Lotung.

Wegen der Unregelmäßigkeit in den Schwingungsumkehrn, die selbst bei Beobachtung der angeführten praktischen Regeln bei 700 m Lotungstiefe und 8 Zentnern Lotgewicht im Mittel noch beinahe einen halben Millimeter beträgt, würden nun aber die drei Berechnungen für den Punkt C nicht gut übereinstimmen und es entsteht die Aufgabe, an Stelle jener drei Berechnungen die wahrscheinlichste Lage des Punktes C nach den Grundsätzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu ermitteln.

Wenn man diese Aufgabe, die keine besondere Schwierigkeit bietet, in Angriff nehmen wollte, so würde man aber immer noch nicht dasjenige Rechnungsergebnis erzielen, das unter den heutigen Verhältnissen das bestmögliche Ergebnis darstellt und das Ergebnis würde hinter den Bedürfnissen des praktischen Bergbaues wesentlich zurückbleiben. Die Methode der kleinsten Quadrate zeigt nun, daß man das Ergebnis der Lotung ganz erheblich verfeinern könnte, falls es etwa möglich wäre, außer den genannten drei Lotungen im Wetterstrom noch eine vierte Lotung bei stillgesetztem Ventilator oder doch bei gedrosseltem Wetterstrom auszuführen. Und das ist in der Tat möglich, falls die betreffende Bergwerksdirektion den Schacht für die Zwecke der Lotung etwa 13 Stunden hintereinander, also vielleicht an einem Sonntag von morgens um 6 bis abends

um 7 Uhr zur Verfügung stellen kann, von Übergabe des Schachtes an den Lotenden bis zur Rückgabe gerechnet. Ist alles gut vorbereitet, so reichen 13 Stunden aus, um einschließlich Aufbau und Abbau vier Lotungen in der angegebenen Weise auszuführen. Man muß sich aber nach den Erfahrungen des Aachener Markscheideinstituts dabei auf etwa 31 Umkehren je Schwingungssatz beschränken oder, will man mehr Umkehren in einen Schwingungssatz hineinbringen, statt mit drei verschiedenen Gewichten nur mit zweien loten. Welche dieser beiden Möglichkeiten das bessere Lotungsergebnis verspricht, ist meines Wissens noch niemals untersucht worden.

Die besprochene Verfeinerung des Lotungsergebnisses durch Hinzufügung einer vierten Lotung bei stillgesetztem Ventilator oder gedrosseltem Wetterstrom stellt den Lotenden aber sogleich vor eine neue Schwierigkeit, die heutzutage noch nicht in recht befriedigender Weise überwunden ist. Es muß nämlich eine Zahl ermittelt werden, welche in der Theorie der Schachtlotung a''' genannt worden ist, und welche das Stärkeverhältnis angibt zwischen dem nach der Stillsetzung des Ventilators oder der Drosselung noch zurückbleibenden Restwetterstrom und dem ursprünglichen vollen Strome. Die Bergdirektoren werden zumal bei natürlicher Bewetterung nicht immer in der Lage sein, dem Lotenden den Quotienten a''' mit wünschenswerter Genauigkeit anzugeben, da die Wetterführung unter Umständen etwas zu verwickelt ist und natürliche Wetterführung zudem von der wechselnden Windrichtung und den wechselnden Barometerständen zu sehr abhängt. Man kann allerdings a''' auch aus den Lotungsergebnissen selber ermitteln, indem man a''' als Unbekannte in die Ausgleichung einführt. Aber dies ist meines Wissens bisher erst in einem einzigen unveröffentlicht gebliebenen Falle geschehen und das Ergebnis hat zu Zweifeln geführt, die bisher sich noch nicht haben beheben lassen.

Die Weiterentwicklung der Lotungsverfeinerung nach dieser Richtung hin muß man daher der Zukunft überlassen.

Wenn ich es als erlaubt ansehen darf, hier über etwaige Zukunftsmöglichkeiten noch etwas zu sagen, so möchte ich meiner Meinung Ausdruck geben, daß es wohl in nicht zu ferner Zukunft gelingen wird, durch Anbringung einer Steuerfläche an einem entscheidenden Füllort oder am Tagekranz die wirbelnde Richtung des Wetterstromes umzukehren, also etwa Rechtsdreh in Linksdreh zu verwandeln und umgekehrt. Dann wird der schachtlotende Markscheider vermutlich ein oder zwei Lotungen mit rechtsdrehendem Wirbel ausführen, ebensoviele mit linksdrehendem Wirbel und dann die Ergebnisse mitteln, die dann voraussichtlich ein Mittel ergeben werden, das von der störenden Wirkung des Wetterstromes frei sein wird.

Oder auch, er wird vielleicht ein bienenwabenartiges Netz über die Schachtmündung und vielleicht noch über einige Füllorte legen und dadurch den wirbelnden Wetterstrom in einen geradlinig flutenden Strom verwandeln, so daß der störende Seitendruck auf die Lote in dieser Weise aufgehoben wird.

Auf beide Möglichkeiten hat schon W. Bischoff in der genannten Veröffentlichung von 1919 hingewiesen.

Man hat noch auf anderen Wegen versucht, der Schwierigkeiten einer Schachtlotung Herr zu werden. Doch war es nur meine Absicht, hier denjenigen Weg zu kennzeichnen, der nach meiner Auffassung am meisten Erfolg verspricht.

Dabei sei noch einer Einzelheit gedacht: die beiden Skalen, welche unter Tage zur Ablesung der Schwingungsumkehren dienen, hat zuerst 1882 Max Schmidt angewandt, damals Professor in Freiberg, jetzt in München. Sie waren von Holz und wurden vom Theodolit aus gesehen hinter den Draht gesteckt. 1888 ersetzte A. Susky sie bei Lotungen im Mayrau-Schacht in Kladno durch transparente Glasskalen, welche zwischen Draht und Theodolit angebracht wurden. Auf eine Anregung von Bergwerksdirektor Dr. Hans Kraus, der 1914 Student an der Freiburger Bergakademie war, wurden dann 1914 die Skalen, die ursprünglich nur wenige *cm* über der Meßbank angebracht waren, auf Kippachsenhöhe gebracht (vgl. Parschin, Tagesanschluß, Heft I S. 71, Anmerkung). Neuerdings hat F. Aubell in Leoben noch die Verfeinerung hinzugefügt, die Skalen mit Gelenken und Anschlägen zu versehen. Sie können daher jetzt sehr dicht an den schwingenden Draht herangebracht und nachher zurückgeklappt werden (Österr. Monatschr. f. d. öff. Baudienst 1922, Heft 7).

Im allgemeinen glaube ich aber folgendes feststellen zu können: 8·3 Zentner Lotgewicht wurden bei meiner Lotung auf Kaiserstuhl I am 2. Dezember 1917 im vollen Wetterstrom bei 700 *m* Lotungstiefe bis zu 3·5 *mm* abgetrieben⁴⁾. Bei stillgesetztem Ventilator in den ersten zwei Stunden nach Stillsetzung würden sie also jedenfalls noch 1·2 *mm* abgetrieben worden sein, wenn man schätzungsweise die Stärke des gedrosselten Wetterstromes auch nur mit einem Drittel der vollen Stromstärke bewerten wollte.

Bedeutend kleinere Gewichte werden natürlich bedeutend mehr abgetrieben. Würde man beispielsweise nur einen Zentner an jeden Draht hängen, so hätte man also unter den angegebenen Verhältnissen eine Abtrift von etwa 10 *mm* zu erwarten. Das Schwingungsbild würde allerdings keinerlei Abweichung zeigen von einem zentrischen Schwingungsbild und an dem Schwingungsvorgang würde man daher nicht merken, daß man nicht genau lotrecht unter dem Aufhängepunkt des Lotes arbeitet. Da mir außer der Mehrgewichtlotung kein Mittel bekannt ist, wie man die Abtrift kennen lernen könnte, so glaube ich allerdings, wird man auf die Mehrgewichtlotung nicht verzichten können, so unbequem sie auch auf den ersten Blick erscheinen mag.

Die überraschende Größe der Abtriften — bei 8·3 Zentner 3·5 *mm* — führt aber noch zu folgendem Gedanken: Die Unsicherheit in der Feststellung der Umkehren ist offenbar dem angewandten Lotgewicht umgekehrt proportional und damit den Abtriften direkt proportional. Es erscheint daher sehr bedenklich, kleinen Gewichten und damit größeren Unsicherheiten in der Feststellung der

⁴⁾ Wilski, Anweisung zur Ausführung der zentrischen Schachtlotung usw., Freiberg in Sachsen, Verlag Mauckisch, 1923, Seite 43.

Umkehren den Vorzug zu geben, obschon sich allerdings nicht leugnen läßt, daß das Arbeiten mit großen Gewichten nicht ganz einfach ist.

Infolge dieses Sachverhaltes erscheinen mir alle diejenigen Schachtlotgeräte, welche für Mehr- und Schwergewichtlotung nicht eingerichtet sind, nur auf geringeren Tiefen, etwa bis zu 300 *m*, brauchbar zu sein.

Dagegen werden bei der Mehrgewichtlotung diejenigen beiden Punkte am Füllort, welche sich lotrecht unter den Aufhängepunkten der Lote befinden, erst durch längere häusliche Rechnung gefunden. Während der Lotung in der Grube kann man also nicht anstreben wollen, den Theodolit genau lotrecht unter die Aufhängepunkte zu bringen. Es genügt auch vollkommen, ihn auf etwa 1 *cm*⁵⁾ genau in diese Lage zu bringen und mit Hilfe der bekannten Zielspitzenrichtung, wie sie wohl die meisten Schachtlotgeräte besitzen, die Lage des Theodolitmittelpunktes in bezug auf die Skalen durch zwei Skalenablesungen festzulegen.

Hieraus folgt, daß es bei Lotungen in großer Tiefe — etwa über 300 *m* — einer genauen Einweisungsvorrichtung für die Zielspitzen, etwa durch Kreuzschlitten, nicht bedarf. Es genügt rohe Verschiebung mit nachfolgender sicherer Klemmung. Hiedurch wird die Herstellung des Untertagegeräts wesentlich verbilligt. Die Kreuzschlitteneinrichtung meines Schachtlotgeräts, wie sie noch in Parschin-Wilski, Tagesanschluß der Grubenmessungen, Heft 2, Abb. 5 und 6, dargestellt ist, habe ich daher vor etwa fünf Jahren durch eine entsprechende einfachere Konstruktion ersetzt und damit gute Erfahrungen gemacht.

Vergleichungsmessungen nach der stereophotogrammetischen, tachymetrischen und polygonometrischen Aufnahmsmethode.

(Veröffentlicht im Auftrage des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen
von Hofrat Ing. Eduard D e m m e r.)

Im Jahre 1923 wurde im Auftrage des Präsidenten des Bundesvermessungsamtes Ing. Alfred G r o m a n n ein Teil des nach der Polygonalmethode im Jahre 1908 neu vermessenen Gebietes der Stadtgemeinde Klosterneuburg stereophotogrammetrisch aufgenommen und im darauffolgenden Jahre auch tachymetrisch vermessen. Dieses Gebiet umfaßte ungefähr 7 *ha* und bot durch sein Gelände die Möglichkeit, die wünschenswerten Genauigkeitsuntersuchungen in bezug auf Lage- und Höhenbestimmung der letztbezeichneten beiden Aufnahmsmethoden zu machen.

⁵⁾ In meiner „Anweisung zur zentrischen Schachtlotung“ hatte ich Seite 25 angegeben „auf 1 bis 2 *cm* genau“. Doch hat Herr Landmesser D ö b r i t z s c h in Bonn, Assistent der landwirtschaftlichen Hochschule, mich darauf aufmerksam gemacht, daß man mit nur ± 1 *cm* Ungenauigkeit arbeiten darf.