

1. Die Geschichte der Grubenbewetterung

1.1 Einführung in die Geschichte der Grubenbewetterung

Will man sich mit dem Fachgebiet der Grubenbewetterung befassen, ist es aus unterschiedlichen Gründen folgerichtig, auch seine historische Entwicklung zu betrachten. Zum einen ist die Beschäftigung mit der Geschichte der Grubenbewetterung aus historischem Interesse unterhaltsam und spannend. Andererseits lernt man das Fachgebiet und seine Zusammenhänge genauer kennen und verstehen.

Die Grubenbewetterung ist zweifellos annähernd so alt wie der untertägige Bergbau selbst. Allein durch Diffusion gelangten die Frischwetter bei der Herstellung untertägiger Grubenräume schon bald nicht mehr in ausreichender Form an die Arbeitsstellen der Bergleute. Um nicht in Wetternot zu geraten, mussten zur Frischluftversorgung schon sehr früh Kunstgriffe und Hilfsmittel angewendet werden. Leider ist die Geschichte der Grubenbewetterung mit einer Reihe tragischer Unfälle bis hin zu Massenunglücksfällen verknüpft. Aufgrund der Erkenntnisse, die aus vielen dieser schrecklichen Ereignisse gewonnen wurden, erlebte die Grubenbewetterung gleichwohl in Theorie und Praxis nach und nach Fortschritte. Ohne den erreichten hohen Stand der Grubenbewetterung hätte der Bergbau in den hochentwickelten Industrieländern seinen derzeit hohen Sicherheitsstandard sowie seine ständig steigende Produktivität nie zuwege bringen können. Produktionssteigerungen, der Einsatz immer leistungsstärkerer Maschinen sowie zunehmende Abbauteufen stellen jedoch immer höhere Anforderungen an die Grubenbewetterung beziehungsweise an die Wetteringenieure, da gleichzeitig ein höheres Aufkommen an Grubengas, Wärme und Staub damit einhergeht. Derartige Probleme gilt es, zu beherrschen oder, wenn möglich, sogar noch zu verbessern.

1.2 Grubenbewetterung im Altertum

Zwischen 4000 und 1200 vor unserer Zeitrechnung gruben europäische Bergleute Gänge in Kalklagerstätten, und suchten nach Feuerstein. Um das Gestein aufzulockern, zündeten sie vor Ort Feuer aus Buschwerk an. Diesen Bergleuten aus der Jungsteinzeit konnte jedoch nicht entgangen sein, dass durch das Feuer bedingt auch eine Luftzirkulation einsetzte.

Archäologische Funde einer Silbergrube in Griechenland aus der Zeit um 600 v. Chr. brachten zum Vorschein, dass damalige Bergleute bereits die Notwendigkeit einer durchgehenden Bewetterung kannten. Wenigstens zwei Wetterstrecken führten zu einem Abbaubereich dieser Grube, und es ließ sich nachweisen, dass unterschiedliche Schächte genutzt wurden, um getrennte Frisch- und Abwetterverbindungen zur Tagesoberfläche zu gewährleisten. Aus dem ersten Jahrhundert v. Chr. stammt von Marcus Vitruvius Pollio (*römischer Architekt und Autor, ca. 90 – 20 v. Chr.*) das einzig erhaltene Architekturlehrbuch aus der Antike. Vitruvs Schrift ‚De architectura‘ behandelte in zehn Büchern neben den Grundlagen der Baukunst auch Maschinen und mechanische Werke verschiedenster Art. Unter anderem berichtete er darin, dass die Römer einen zweiten Schacht abteuften, wenn sie angesichts der schlechten Wetter mit einem Schacht nicht mehr weiterkamen und sie einen intensiven Wetteraustausch erreichen wollten. Im ersten Jahrhundert unserer Zeitrechnung trug Gaius Plinius Secundus der Ältere (*römischer Offizier und Staatsbediensteter sowie Schriftsteller, 23 – 79 n. Chr.*) in 37 Bänden seines Hauptwerks ‚Naturalis historia‘ (Naturkunde) alles zusammen, was über die Welt bis in seine Zeit hinein bekannt war oder als gesichert galt. Darin beschrieb er auch, dass Sklaven Palmwedel oder Tücher in Gruben benutzten, um Wetter nach vor Ort zu schaffen (Bild 1).

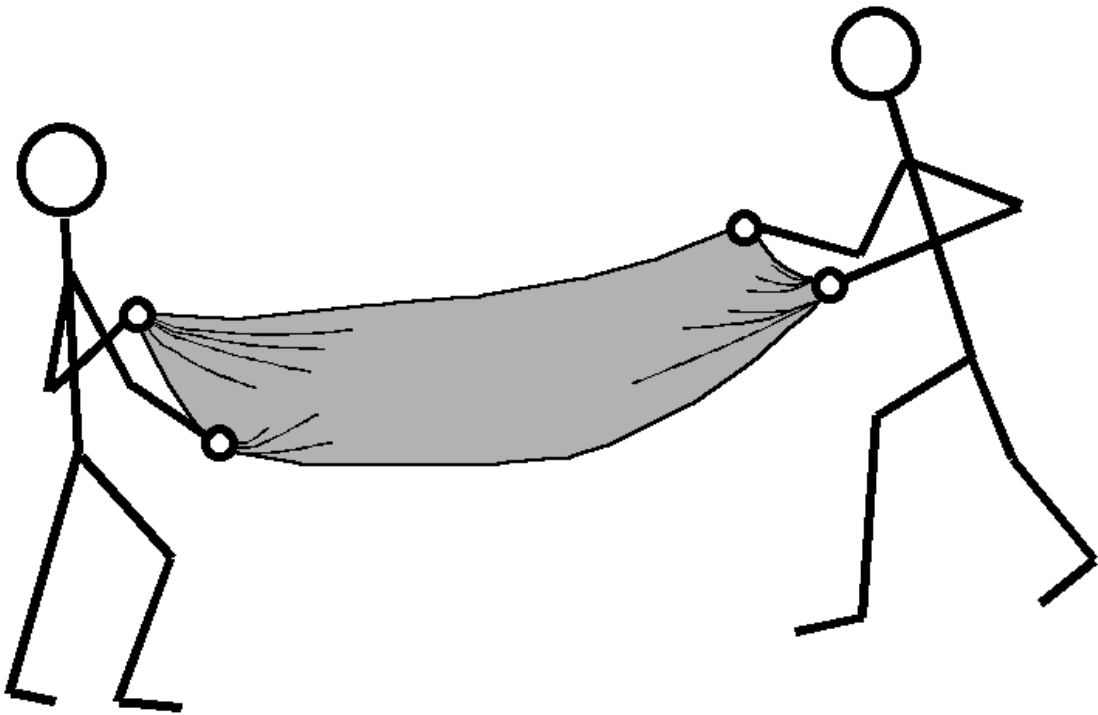


Bild 1: Gebrauch des Wettertuchs (Leilachen)

1.3 Grubenbewetterung im späten Mittelalter und in der frühen Neuzeit

Obwohl in den ersten 1500 Jahren unserer Zeitrechnung in Europa Bergbau betrieben wurde, finden sich die ersten literarischen Dokumente dieser Epoche erst gegen Ende des 15. Jahrhunderts wieder. Die älteste deutsche Darstellung über den Bergbau und zugleich über Bewetterungsfragen stammte von Paulus Nivis (*sächsischer Frühhumanist, ca. 1460 – 1514*). Unter dem Eindruck des gewaltigen Aufschwungs des frühneuzeitlichen Bergbaus beschrieb er in lateinischer Sprache in seinem ‚Iudicium Iovis‘ (um 1490) als Traumdarstellung eine Gerichtsszene, die vor Jupiter ‚im Tale der Schönheit‘ gehalten wurde, bei welcher der Mensch von der Erde wegen der vielen, ihren Leib durchbohrenden Bergwerke des Muttermordes angeklagt wurde. Die Klage lautete, dass der Mensch ohne jeden Respekt, mit Instrumenten, die wie Folterwerkzeuge seien, den lebendigen Leib der Ernährerin um des bloßen Nutzens und Gewinns willen zerstörte. Auf die Wettertechnik wies der folgende Abschnitt aus der Anklage hin:

„Zuerst pflegen sie zu graben, und das nennen sie eine Fundgrube. Wenn diese so tief ist, dass sie durch strömendes Wasser behindert werden, weiter vorzudringen, treiben sie Stollen in den Hang des Berges, bringen auch wohl mehrere Schächte nieder; einen davon nennen sie den Wetterschacht, nach der Luft, die sie mit förmlicher Zauberkunst hineinpressen.“

Und plausibel verteidigte sich der Mensch mit dem Argument, die Erde sei um seiner willen da und er müsse ihr, die ihre Schätze stiefmütterlich im Inneren des Schoßes verberge, das Lebensnotwendige in mühsamer Arbeit entreißen. Das Gericht endete mit dem Schiedsspruch, dass es der Bestimmung des Menschen entspräche, Bergbau zu treiben, und dass er seinen Zoll dadurch entrichten müsse, dass er den bergmännischen Gefahren unterliegt.

Eine weitere Schrift des Paulus Nivis war der ‚Thesaurus eloquentiae‘ (etwa zwischen 1485 und 1490). Darin wurden in Frage und Antwort die wichtigsten Begriffe und Vorgänge im Bergbau erklärt:

Ø Was ist denn das für ein riesiges Loch?

- Ø Man nennt das, soviel ich weiß, einen Wetterschacht.
- Ø Wozu dient denn der?
- Ø Man presst Luft hinein, damit es den Bergknappen nicht daran fehlt. Du siehst auf jeder Seite eine Vorrichtung, eine Art Windfang, und wenn man dieses Hilfsmittel nicht erfunden hätte, würde niemand Bergbau betreiben können.

Bei einem Windfang handelt es sich um eine der ältesten Formen von Wetterschächten. Hierbei wurde die Windkraft für die Bewetterung ausgenutzt, indem ein viereckiger Turm durch die Anordnung von Brettern derart gestaltet war, dass der Wind die Wetter in den Schacht hinunterdrücken musste (Bild 2). Die Förderung in einem solchen Wetterschacht wäre aufgrund der dabei vorhandenen Vorrichtungen stark behindert und deshalb kaum möglich gewesen. Daher befand sich die Förderung in der Regel in den ausziehenden Schächten. Entgegen unserer heutigen Betrachtung war der Wetterschacht damals der einziehende Schacht.

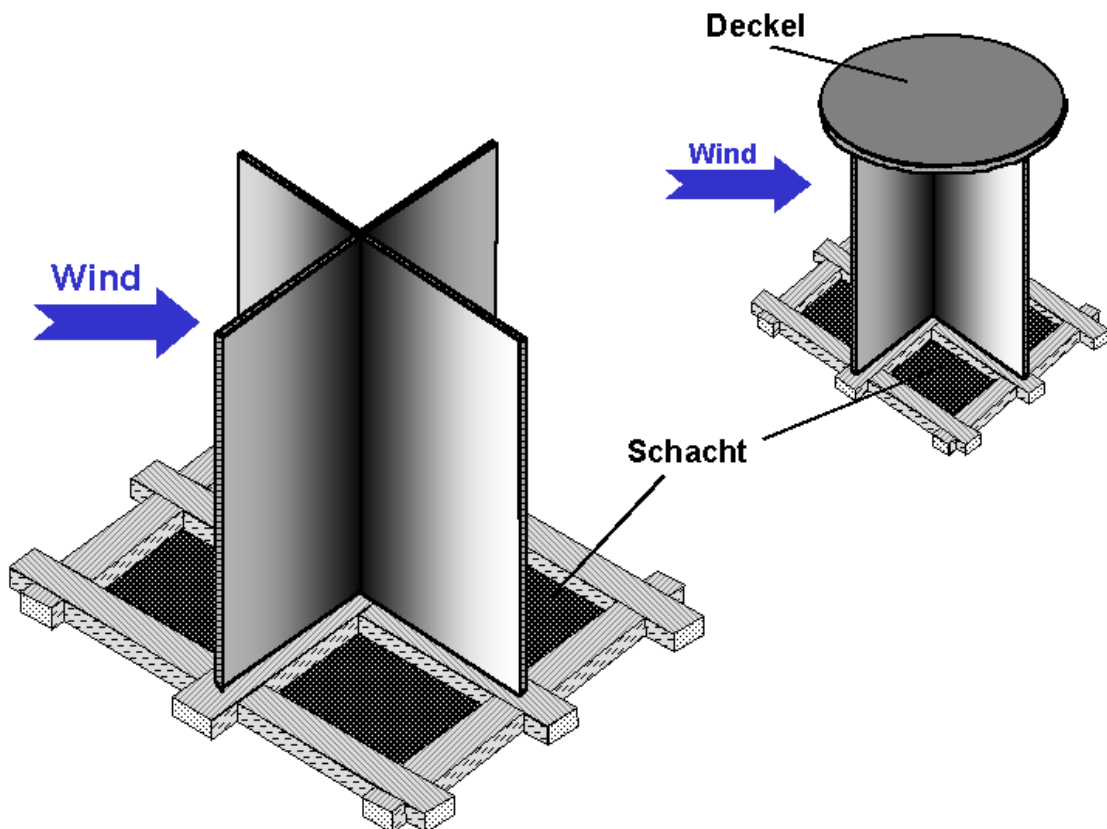


Bild 2: Windfänge an einziehenden Schächten

Die älteste Beschreibung des Bergbaus in deutscher Sprache erfolgte in dem um 1500 erschienenen Werk "Ein nützlich Bergbüchlein" des Ulrich Rülein von Calw (*Arzt und Bürgermeister in Freiberg sowie Städteplaner der Bergstädte Annaberg und Marienberg, 1465 – 1525*). Im Anhang dieses Bergbüchleins wurden bergbauliche Fachausdrücke erläutert, von denen nachfolgend ein Auszug wiedergegeben ist:

- Windfang (Wetterhut):** Ist den man am Tag über ein Grub setzt mit Holtz und Brettern / daran sich das Wetter wechselt / das man inn der Grube oder in dem Schacht arbayten kan.
- Einkommen:** Einkompt ist / wenn man ein Durchschlag macht / das man Wetter bringt un Wasser benimpt.
- Wetterbracht:** Ist / das der Wind durch den Durchschlag oder Stollen hindurch in die Zeche zeucht / das man darbey arbayten kan.

Die ausführliche Beschreibung von Wettermaschinen kam erstmals im umfassenden Werk ‚De re metallica libri XII‘ des Georgius Agricola (*eigentlich Georg Bauer, der sich nach der Tradition mittelalterlicher Humanisten Agricola nannte, bei Zwickau geborener Arzt und Naturforscher, 1494 – 1555*) vor. Agricola verband erstmals humanistische Gelehrsamkeit

mit montanwissenschaftlichen Kenntnissen. Daher soll das Leben und Werk des Begründers der Montanwissenschaften an dieser Stelle etwas ausführlicher erwähnt werden. Im Jahr 1527 wurde Agricola als Stadtarzt und Apotheker nach Joachimsthal im Erzgebirge berufen, einer damals noch jungen Bergbaustadt. Nachdem 1516 dort erstmals Silber gefunden wurde, erlebte Joachimsthal einen steilen Aufschwung. Joachimsthal wurde nach Prag die zweitgrößte Stadt Böhmens. Über die Heilmittelkunde erwuchs das Interesse Agricolas für den Bergbau, weil er sich intensiv mit den aus Mineralien gewonnenen Heilmitteln der Antike befasste. Beim Studium der antiken Texte musste Agricola jedoch feststellen, dass Schriftsteller der Antike zwar die Landwirtschaft umfangreich beschrieben hatten, dass aber der Bergbau keine vergleichbare Berücksichtigung gefunden hatte, obwohl der Bergbau als Kulturtechnik mindestens ebenso alt und volkswirtschaftlich gleichbedeutend war. Unerfreulicherweise galt zudem der Bergbau als Sinnbild menschlicher Habsucht und wurde in Zusammenhang mit der Vernichtung fruchtbaren Bodens gebracht. Diese Feststellung führte dazu, dass Agricola beschloss, den Bergbau auf eine wissenschaftliche Grundlage zu stellen und ihm somit zu einem Stellenwert in der Gesellschaft zu verhelfen, der seiner Bedeutung endlich angemessenen war. Für seine Absichten befand sich Agricola in Joachimsthal am richtigen Ort. Der dortige Silberbergbau lieferte ihm genügend Anschauungsmaterial. Als Ergebnis einer zwanzigjährigen Beschäftigung mit dem Thema schloss Agricola 1550 das Manuskript zu ‚De re metallica‘ ab. Doch da Agricola den Text durch zahlreichen Abbildungen anschaulicher machen wollte, war die Arbeit damit noch keineswegs erledigt. Bis 1553 fertigte er 292 Skizzen an, die für die Drucklegung den Formschneidern als Vorlage dienen sollten. Erst ein Jahr nach Agricolas Tod im Jahr 1555 wurde ‚De re metallica‘ 1556 in Basel herausgegeben. Bereits ein Jahr nach der lateinischen Erstausgabe erschien im gleichen Verlag 1557 eine deutsche Übersetzung. Aber obgleich fachlich und sprachlich von hervorragender Qualität, fand sie nur sehr schleppenden Absatz. Die lateinische Ausgabe hingegen hatten einen so reißenden Absatz, dass schon 1561 eine Neuauflage erforderlich wurde. 1912 übersetzten Herbert C. Hoover (*von 1929 bis 1933 späterer Präsident der Vereinigten Staaten von Amerika*) und seine Frau Lou ‚De re metallica‘ ins Englische. Hoover war damals ein junger amerikanischer Bergbauingenieur und kritisierte die erste deutsche Übersetzung von ‚De re metallica‘. Die Kritik Hoovers hatte, obgleich unzutreffend, wenigstens zwei neue Übersetzungen ins Deutsche zur Folge, nämlich 1928 als VDI-Ausgabe und 1974 als Teil der Agricola-Gesamtausgabe.

Im sechsten Buch von ‚De re metallica‘ beschrieb Agricola die Wettermaschinen. Es heißt:

Wenn ein Schacht sehr tief geworden ist, ohne dass zu ihm ein Stollen oder von einem anderen Schacht ein Feldort herangeführt ist, oder wenn ein Stollen sehr lang ist, ohne dass er mit einem Schachte in Verbindung steht, so kann sich die Luft nicht verdünnen und wird für die Bergleute so dick, dass sie schwer atmen können. Zuweilen ersticken sie sogar und die brennenden Lichter verlöschen. Es sind daher Maschinen nötig – die Griechen nennen sie >>pneumatika<<, die Römer >>spiritalia<<, obwohl sie keinen Ton von sich geben – die bewirken, dass die Bergleute leicht atmen und ihre Arbeit verrichten können.

Des Weiteren stellte Agricola drei verschiedene Gattungen von Wettermaschinen vor. Bei der ersten Gattung, bei welcher der Windzug aufgefangen und in den Schacht geleitet wurde, unterschied er drei Arten:

1. Windfänge, wie sie in Bild 2 dargestellt sind.
2. Vorrichtungen, die den Wind durch Lutten in den Schacht leiteten. Dabei wurden trichterförmige Erweiterungen oder einfach nur auf das Luttenende aufgesetzte Bretter so in den Wind gestellt, dass der Wind aufgefangen und in die Lutte umgelenkt werden konnte.
3. Wetterhüte, die aus einem oder mehreren Rohren sowie aus einem hölzernen Fass bestanden (Bild 3). Das Fass wurde mit Hilfe eines Windflügels so in den Wind gedreht, dass die seitliche Windöffnung des Fasses immer dem Wind zugewandt war. Der somit

aufgefangene Wind wurde durch das Rohr in eine Lutte oder durch mehrere Rohre in den Schacht hinaufgeführt

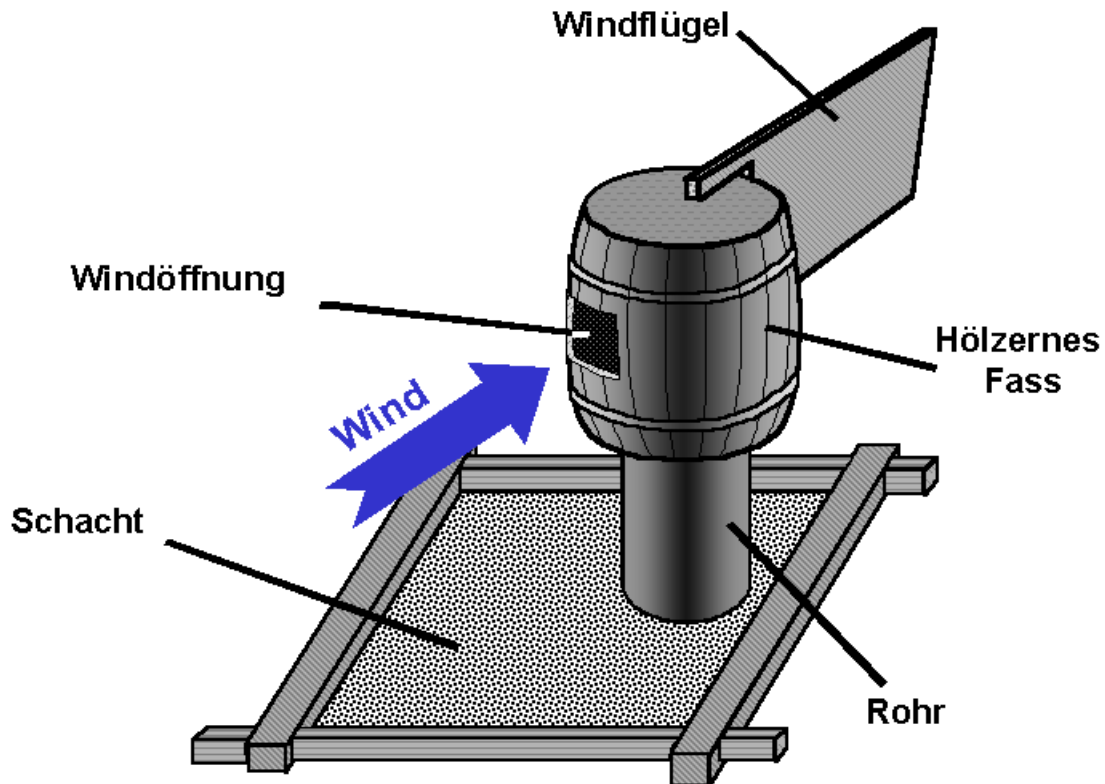


Bild 3: Wetterhut an einem einziehenden Schacht

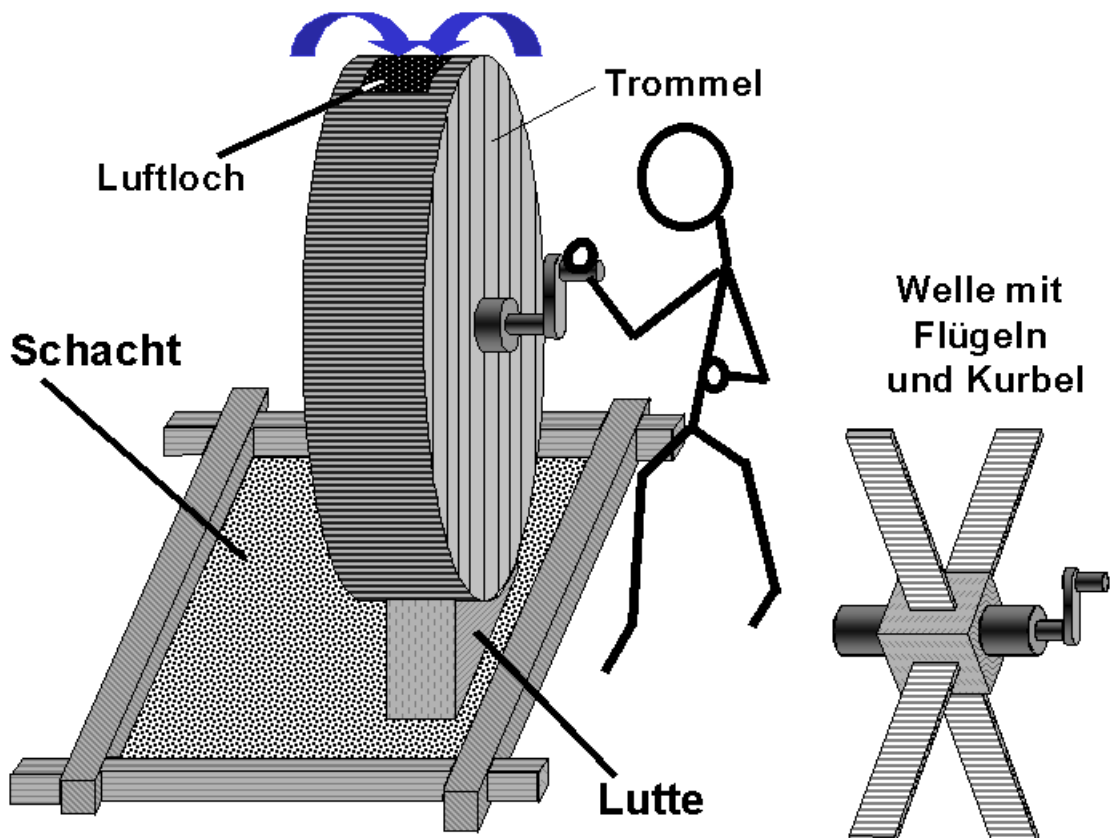


Bild 4: Weterrad mit Handantrieb

Unter der zweiten Gattung von Wettermaschinen verstand Agricola Wetterräder mit Flügeln (Bild 4). Die Flügel waren auf einer Welle befestigt. Der äußere Teil der Maschine bestand entweder aus einer runden Trommel oder aus einem rechteckigem Gehäuse, in dem sich die

Welle mit den Flügeln drehen konnte. An einem Ende der Welle befand sich eine Kurbel, an seinem gegenüberliegenden Ende waren vier Stangen befestigt, um damit den schweren Rundbaum leichter in Rotation versetzen zu können. Die feststehende Trommel beziehungsweise das Gehäuse besaß zwei gegenüberliegende, rechteckige Luftlöcher. Wenn ein Arbeiter die Welle mit Hilfe der Kurbel in Drehung versetzte, so saugte die Maschine durch das obere Luftloch die Luft an und drückte sie durch das untere Luftloch und die daran angeschlossene Lutte in den Schacht. Agricola fand heraus:

„Das Gehäuse und die Trommel haben zwar dieselbe Bedeutung, aber die zweite ist dem ersteren weit überlegen. Denn die Flügel können die Trommel so bestreichen, dass sie sie fast überall berühren und alle angesaugte Luft in die Lutte treiben. Das Gehäuse hingegen können sie wegen der Winkel nicht so ausfüllen; da in ihnen ein Teil der Luft zurückbleibt, kann es nicht so gut wirken wie die Trommel.“

Anstelle des Handantriebes mittels der Kurbel gab es auch Wetterräder, die – ähnlich einer Windmühle – durch Windkraft angetrieben wurden. Der Nachteil derartiger Wettermaschinen bestand darin, dass sie nicht funktionierten, wenn kein Wind wehte, was häufig der Fall war. Agricola berichtete auch über Wetterräder, die von Wasserrädern mittels Wasserkraft angetrieben wurden. Hierzu stellte er fest:

„Wenn die Örtlichkeit die nötige Wassermenge liefert, ist es sehr zweckmäßig, diese Maschine herzustellen, sowohl weil kein Arbeiter nötig ist, dem Lohn gezahlt werden muss, als auch weil dem Schachte beständig Luft durch die Lutte zugeführt wird.“

Um die Wirkungsweise der Flügel zu verbessern, indem man den Spalt zwischen Flügelspitze und Gehäuse-Innenwand reduzierte, verwendete man entweder lange und dünne Späne aus Pappelholz oder eines anderen biegsamen Holzes, die man an den Flügelspitzen befestigte oder man befestigte doppelt oder dreifach übereinander gelegte Gänseflügel an den Flügelspitzen.

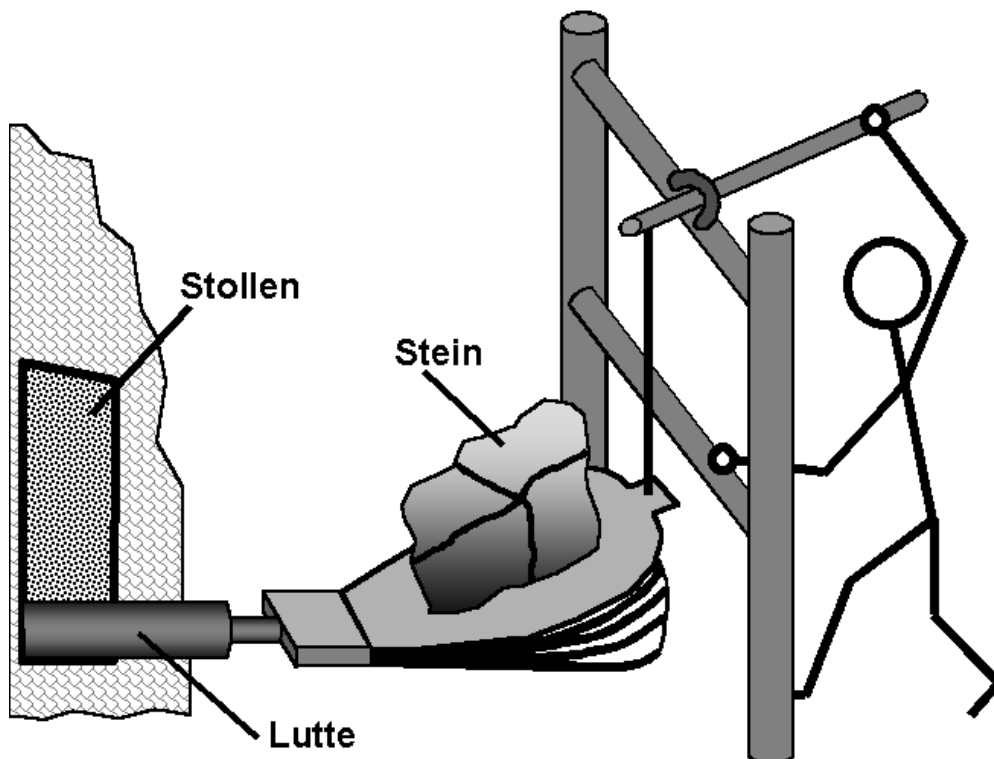


Bild 5: Blasebalg für die blasende Bewetterung

Als dritte Gattung der Wettermaschinen bezeichnete Agricola die Blasebälge. Mit Hilfe von Blasebälgen ließen sich nicht nur durch Lutten oder Rohre Frischwetter in Schächte und Stollen blasen (Bild 5), sondern es ließen sich auch schädliche Wetter durch Lutten oder

Rohre absaugen (Bild 6). Blasebälge wurden entweder von Menschenhand, durch Pferde oder durch Wasserkraft betrieben.

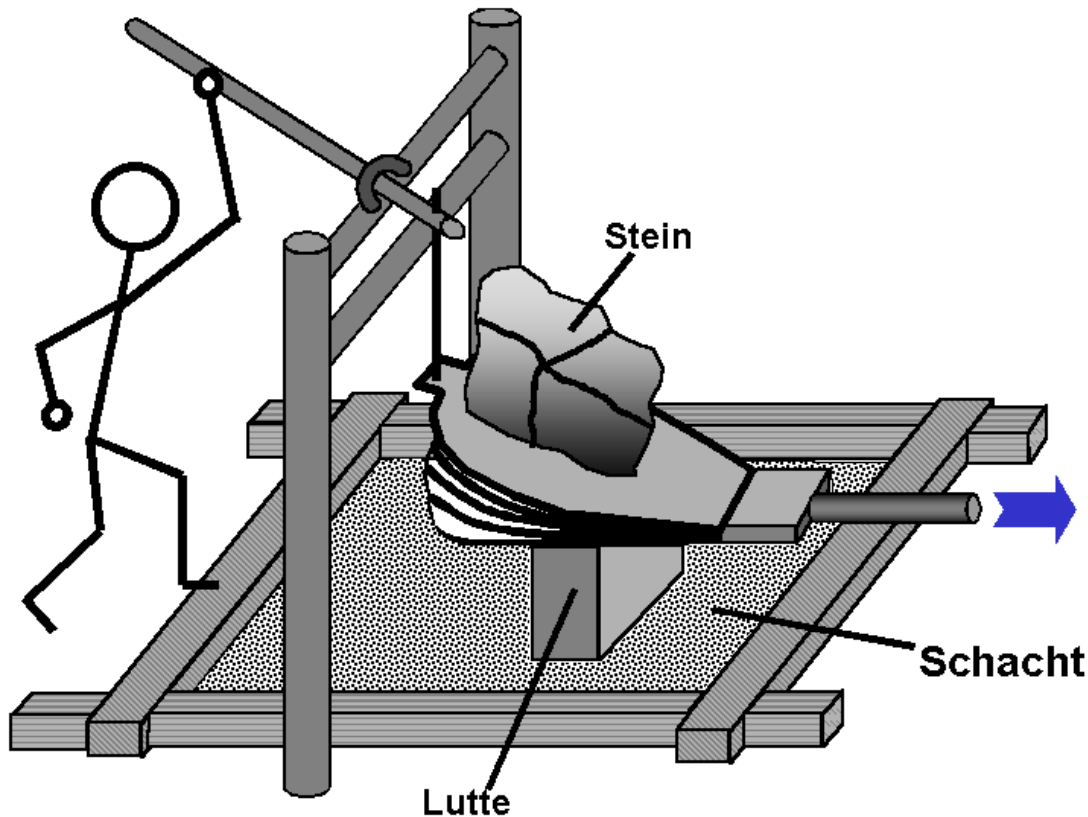


Bild 6: Blasebalg für die saugende Bewetterung

Etwa gleichzeitig mit Agricola vollendete 1544 Sebastian Münster (*Hebraist und Kosmograph, 1488 – 1552*) seine reichillustrierte ‚Cosmographia‘, eine geographisch-historische Weltbeschreibung unter besonderer Berücksichtigung Deutschlands. 1550 ließ er eine erweiterte Fassung seiner ‚Cosmographia‘ mit über 900 Holzschnitten und 40 Karten in deutscher und lateinischer Sprache erscheinen. Bis 1650 wurde sie in 49 Auflagen veröffentlicht und in sechs Sprachen übersetzt. Die ‚Cosmographia‘ avancierte zu einem der bedeutendsten Bücher des 16. Jahrhunderts. Zum Teil aus Überlieferung, zum Teil aber auch aus eigener Anschauung beschrieb er den Bergbau unter anderem so:

„Es hat auch die oberst Klufft ettliche Klafftern fern von dem Mundloch Windfang / da sich der Luft / woher er kompt / hinab trinkt / und darnach den andern Schacht weiter hinab laßt / es möchten sonst die Bergleut brennende Tügel (Tiegel, Lampen) nit beim Liecht behalten.

Da die im Bergbau Beschäftigten der damaligen Zeit weder die Gelegenheit noch die Muße hatten, über ihre Arbeit etwas schriftlich aufzuzeichnen, betätigten sich häufig die Bergprediger als Überlieferer der Bergbauwissenschaft, weil sie einerseits über die erforderlichen Fachkenntnisse, andererseits über die nötige Freizeit verfügten. Einer dieser Bergprediger war Johannes Mathesius (*Lehrer und Pfarrer in Joachimsthal, 1504 – 1565*). Mathesius bezog den Inhalt seiner Predigten auf den Bergbau und machte sich somit den Bergleuten besonders leicht verständlich. In einer Ausgabe der „Sarepta-Predigten“ von 1562, die Mathesius vor den Bergleuten in Joachimsthal gehalten hat, beschreibt er den Bergbau und die dort verwendeten Maschinen. Die Schlagwetter verglich er mit dem Donner und fügte hinzu, dass man doch mancherlei Abenteuer und Wunderwerke tief in der Erde fände. Wie so manche zeitgenössischen Autoren war auch Mathesius der Meinung, dass es sich bei der Bewetterung um Kunststücke handelte:

„Zum Schluß / weyl ich oben von Kunststücken rede / sol ich auch als ein Bergprediger unserm Gott danken / für die schön Kunst / das man gut Wetter durch Windfang / Lutten / Geblese und Focher / in ein Stohn füren oder treiben kann / und das böse Wetter herauß ziehen und bringen.“

Von Mathesius stammte außerdem die Beschreibung der Sonderbewetterung mit Blasebalg und Treckwerk. Bei einem Treckwerk handelte es sich um eine Wasserseige. Das abfließende Wasser wurde dabei vom Ortsbetrieb in einem oben geschlossenen, rohrähnlichen Kanal abgeleitet. Vor Ort wurden aufgrund des fließenden Wassers – ähnlich der Ansaugseite einer saugend betriebenen Lutte – Abwetter in den Rohrkanal hineingesaugt und durch den Kanal in Fließrichtung des Wassers abgeführt. Entsprechend dem Prinzip einer saugenden Sonderbewetterung strömten die nachfolgenden Frischwetter über einen Wetterschacht bis zum Ortsvortrieb. Diesen Vorgang schilderte Mathesius folgendermaßen:

„Es ist je wercklich das man auf ein Stohn inn der Forst (Firste) auß Prettern ein Lotten (Lutte) schlecht (schlägt, macht) / verlutiert und verkleibt oder verstreicht sie mit Leym (Lehm) oder Letten / damit das gute Wetter oder frische Luft in Berg ziehen / und das böse Wetter unterm Dreckwerck wider herausschleichen könne / und sonderlich wo man mit ein Blaßbalck das böse Wetter hebet / da folgt bald ein gutes an die stadt / weil die Natur nicht leiden kann / das ein Ort ler / ledig / oder ohne Lufft sei ...“

Cyriakus Spangenberg (*Prediger, Streittheologe und Geschichtsschreiber der Grafschaft Mansfeld, 1528 – 1604*) hat in seiner Chronik ein Kapitel mit dem Thema „Vom Schwaden in Berg-Werck“ geschrieben.

Der Bergprediger Hardanus Hake (*Pastor in Wildemann und wichtigster Harzchronist des 16. Jahrhunderts, Geburts- und Todesjahr sind nicht überliefert*) schrieb im Auftrag der Wolfenbütteler Landesverwaltung eine Bergchronik der Jahre 1524 – 1583. Er gab darin sehr genau die Ereignisse bei der Wiederaufnahme des Oberharzer Bergbaus im 16. Jahrhundert wieder, deren Augenzeuge er war. Dabei berichtete er wiederholt von Bergwerksschließungen weil die erforderlichen Wetterverbindungen fehlten. Aus seinen Schilderungen geht hervor, dass die Bewetterung für die Lebensdauer eines Bergwerks oft von ausschlaggebender Bedeutung war.

Georg Engelhard von Löhneyss (*Berghauptmann im Dienste des Herzogs von Braunschweig-Wolfenbüttel, 1552 – 1622*) verfasste 1617 das nach Agricola nächst bedeutende Lehrbuch mit dem Titel „Bericht, von Bergwerck, wie man dieselben bawen, und in guten Wolstandt bringen soll, sampt allen darzu gehörigen Arbeiten, Ordnung und rechtlichen Process“. Hierin beschrieb er – prachtvoll illustriert – den damaligen Bergbau und die Hüttentechnik, die geltenden Vorschriften und die angewendeten Verfahren sowie die gebräuchlichen Maschinen. Der dritte Teil seines Werks trägt die Überschrift „Von Wetter in die Schacht zu bringen“. Darin veranschaulichte er Blasebalg, Lotte (Lutte), Wettertrommel (Wetterrad) und vergrößerte Lotte (trichterförmige Erweiterung an einem Luttenende).

Über die Praxis des ‚Kesselns‘ schrieben 1691 Johann Andreas Fischer (*thüringischer Arzt, Chemiker und Mineraloge, 1667 – 1729*) und Balthasar Rößler (*böhmischer Bergmann und Markscheider, Bergbeamter in Freiberg, Erfinder des Hängekompasses, 1605 – 1673*) dessen Buch ‚Hell-polierter Berg-Bau-Spiegel‘ jedoch erst 1700 im Druck erschien. Dabei wurde Reisig und trockenes Holz in einen durchlöchernten Kessel gefüllt, angezündet und in einen Schacht bis auf das Füllort herabgelassen. Diese Methode wurde sowohl bei nicht durchschlägigen, als auch bei durchschlägigen Grubenbauen zur Erhöhung des natürlichen Auftriebs angewendet.

Seit dem Beginn des 17. Jahrhunderts wurden auch in Großbritannien der ‚Royal Society of the United Kingdom‘ Abhandlungen über die explosionsfähigen und giftigen Eigenschaften der Atmosphäre im Bergbau unterbreitet. Im Jahr 1686 wurde die von Robert Plott (*englischer Chemiker und Naturforscher, 1640 – 1696*) stammende ‚The Natural History of

Staffordshire' veröffentlicht. Unter sieben unterschiedlichen Luftarten erwähnte er darin unter anderem auch die Schlagwetter.

1.4 Grubenbewetterung im 18. und 19. Jahrhundert

Zu Anfang des 18. Jahrhunderts hat Johann Bartels (*dessen Lebensdaten sind dem Autor nicht bekannt*) hinsichtlich der Konstruktion von Wettermaschinen zu erstaunlichen Fortschritten innerhalb seiner Epoche beigetragen. 1711 übergab er den Berghauptleuten einen Aufsatz mit dem Thema „Einige Speculationes und Observationes über die Gruben und Orte worinnen böses Wetter, kalter Dampf, oder Bergschwaden ist, und ob solchen nicht besser zu helfen und vorzukommen sey, als wie bishero durch Blasebälge geschehen.“

Bartels erfand eine besonders leistungsfähige Wettermaschine, den Wetterofen (Bild 7). Wetteröfen erbaute man über Tage neben dem Schacht. Diese Wettermaschine bestand aus einem Ofen. Der Ofen war in der Regel mit einem Gewölbe gemauert und mit einer sehr großen Rostfläche versehen. Die gesamte Luftzufuhr für dessen Feuerungen stammte aus dem Wetterstrom eines Abwetterschachtes. Der Abwetterschacht war über einen Kanal mit dem Wetterofen verbunden und gegenüber der umgebenden Atmosphäre derart abgeschlossen, dass der gesamte Abwetterstrom durch den Wetterofen geleitet werden konnte. Indem der Wetterofen eine stark erhitzte Luftsäule erzeugte, bewirkte er einen nennenswerten Wetterzug in dem Schacht. Die Zugkraft des Ofens wurde zudem durch einen hohen Kamin verstärkt. Noch bis zum Jahr 1906 waren auf Bergwerken im Harz Wetteröfen im Einsatz.

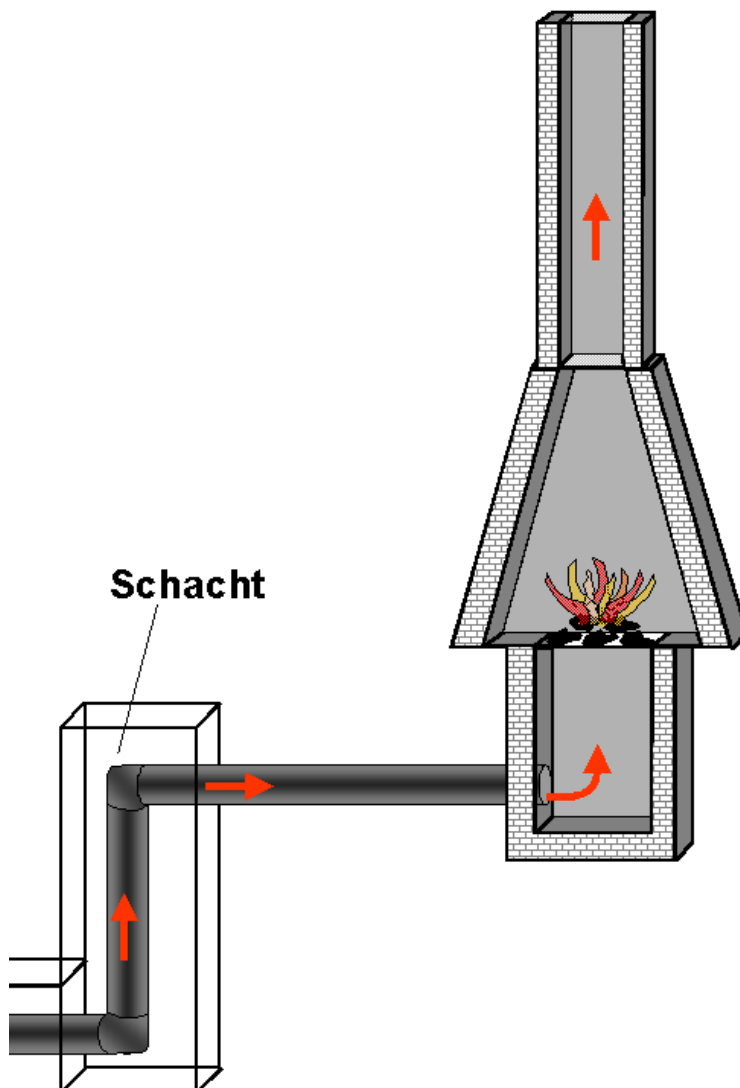


Bild 7: Wetterofen

Eine noch bedeutendere Erfindung des Johann Bartels war der ‚Harzer Wettersatz‘ (Bild 8), den er aufgrund einer von ihm aufgestellten physikalischen Theorie konstruierte. Bartels ging davon aus, „daß die Wetter aneinanderhängen“. Schon Mathesius hatte diesbezüglich eine vergleichbare, wenn auch weniger wissenschaftlich begründete Betrachtungsweise. Der ‚Harzer Wettersatz‘ bestand aus zwei oben offenen Behältern, in denen jeweils ein weiterer, unten offener und oben geschlossener Behälter durch mechanische Kraft auf- und abwärts bewegt werden konnte. Die oben offenen Behälter waren mit Wasser gefüllt. Durch seine Böden führten Röhren, die nach unten mit einer Lutte verbunden waren. Am Ende einer Röhre oberhalb des Wasserspiegels befand sich ein Ventil, das bei der jeweiligen Aufwärtsbewegung eines der beiden unten offenen und oben geschlossenen Behälter sich nach oben öffnete. Ein ähnliches Ventil befand sich jeweils auf dem Deckel dieser Behälter. Dieses Ventil war jedoch bei der Aufwärtsbewegung eines Behälters geschlossen.

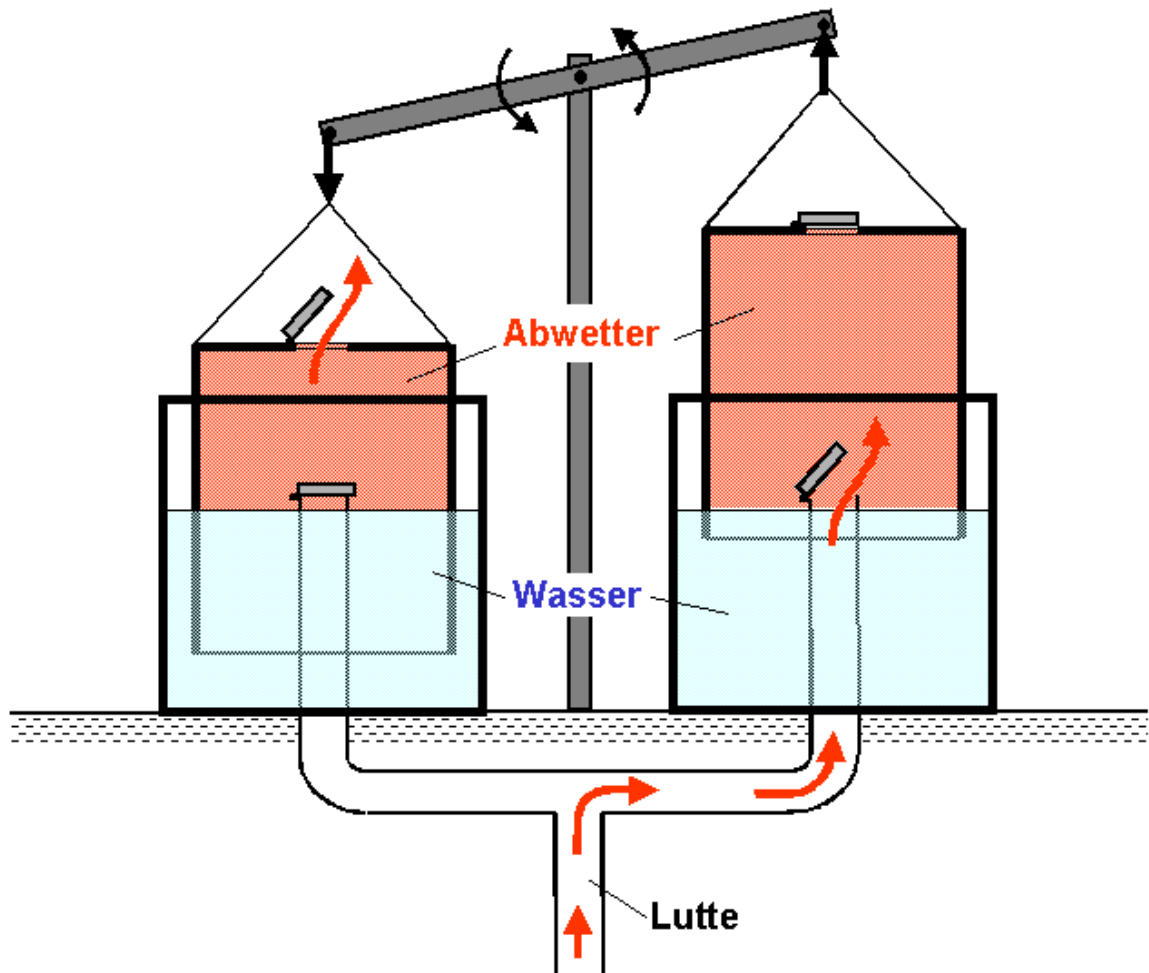


Bild 8: Prinzipskizze des ‚Harzer Wettersatzes‘

Beim Aufwärtsziehen eines Behälters wurden Abwetter aus der Lutte in diesen Behälter hineingesogen. Bei der anschließenden Abwärtsbewegung des Behälters öffnete sich das Ventil auf dem Deckel des Behälters, während sich das Ventil am Ende der Röhre oberhalb des Wasserspiegels schloss. Die im Behälter befindlichen Abwetter wurden dabei in die Atmosphäre ausgestoßen. Der Apparat förderte also einen quasi kontinuierlichen Abwetterstrom. Lange zählte der ‚Harzer Wettersatz‘ zu den leistungsfähigsten und betriebssichersten Wettermaschinen seiner Zeit.

1719 wurde die ‚Wassertrommel‘ (Bild 9) beschrieben. Sie arbeitete nach dem Prinzip der Wasserstrahlpumpe. Von einer oberen Stollensohle stürzte Wasser durch ein Füllrohr hinab in ein Fass. Dieses Fass stand in einem Wasserkasten und besaß unter der Wasseroberfläche seitliche Öffnungen. Das hinabstürzende Wasser saugte über seitliche Öffnungen im Füllrohr aus der Umgebung Wetter an und komprimierte sie im Fass. Ein

Luftaustritt durch die Wasseraustrittsöffnung war nicht möglich, weil der Wasserspiegel ständig darüber stand. Die komprimierten Wetter wurden vielmehr durch eine oberhalb des Wasserspiegels angeordnete Lutte nach vor Ort geleitet. Damit die Wetter nicht mit dem Wasser mitgenommen wurden, prallt das herabstürzende Wasser auf einen Stein, an dem die mitgerissenen Wetter abgeschieden werden konnten. Die Wettertrommeln waren durchaus in der Lage, Wetter über die angeschlossenen Lutten mehrere hundert Meter weit nach vor Ort zu blasen. Eine Wassertrommel war überall dort einsetzbar, wo das herabstürzende Wasser ohne Pumparbeit wieder aus der Grube ablaufen konnte. Henning Calvör (*Clausthale Theologe und Lehrer für Mathematik und Mechanik*, gilt als „geistiger Vater“ der *Clausthale Hochschule*, 1685 – 1766) erklärte seinen Schülern dieses Prinzip, so dass 1732 eine derartige Wettermaschine unter dem Namen „Wassertrommel“ erstmals im Harz eingesetzt wurde.

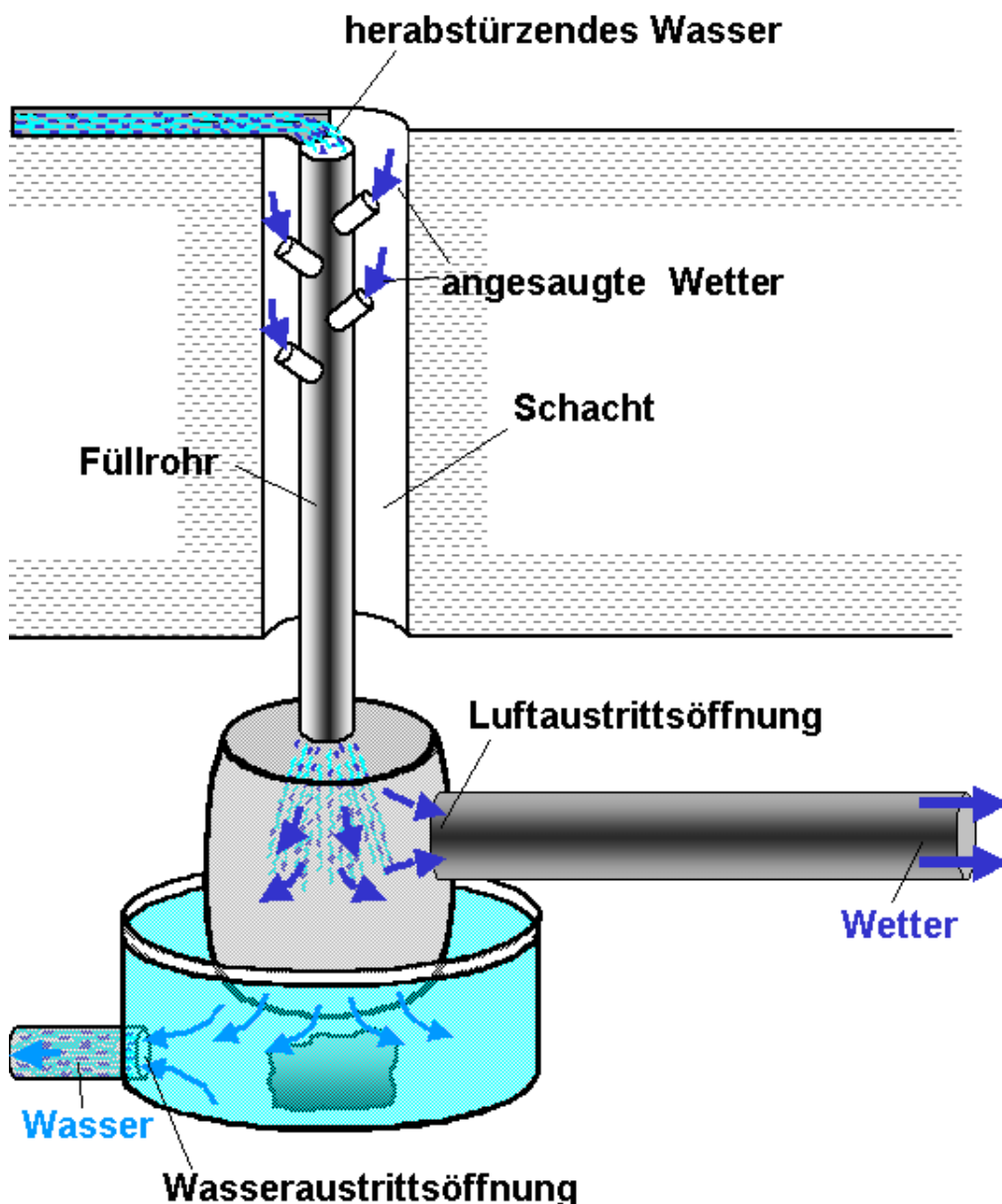


Bild 9: ‚Wassertrommel‘ für blasende Sonderbewetterung

Calvör beschrieb den Erfolg der Wassertrommel folgendermaßen:

„Sie hat so stark geblasen, dass in einer Nacht alle bösen Wetter aus dieser Grube vertrieben worden, da vorher niemand mehr den halben Schacht hat hinein kommen können“

Aus einem Buch von Henning Calvör aus dem Jahr 1763 geht hervor, dass Bewetterungsschwierigkeiten zu großen Problemen geführt haben. Es ist daher anzunehmen, dass es damals zu zahlreichen Unfällen und sogar zu großen Katastrophen gekommen sein muss, weil bereits sein erster Abschnitt die Überschrift trägt:

Der erste Theil handelt also

Von denen Maschinen und Hülfsmitteln, dadurch die Hindernisse bey dem Bergbau aus dem Wege geräumt werden.

Die Hindernisse bey dem Bergbau sind, ausser andern, besonders der Mangel frischer Luft oder Wetter in den Stollen, Schächten und Gruben, und das Wasser in den Gruben. Daher folgen zwey Capitel.

Das 1. Capitel.

Von denen Maschinen, welche die von der Luft herrührenden Hindernisse bey dem Bergbau aus dem Wege räumen.

Johann Gottlieb Kern (*dessen Lebensdaten sind dem Autor nicht bekannt*) schrieb 1769 einen 312 Seiten umfassenden „Bericht vom Bergbau“, der bei der Churfürstlich-Sächsischen Bergakademie in Freyberg verlegt worden ist. Darin begründete Kern, dass es aus klimatischen Gründen günstiger sei, eine möglichst späte Verzweigung des einziehenden Wetterstroms vorzunehmen; ein großer Einziehewetterstrom führt demzufolge zu niedrigeren Temperaturen an den Arbeitsstellen vor Ort.

Dem Geist jener Zeit entsprach es jedoch, dass sich nur wenige Gelehrte mit den Auswirkungen von Bewetterungseinrichtungen sachlich auseinandergesetzt haben. So blieb es nicht aus, dass auch äußerst fragwürdige Hülfsmittel zur angeblichen Verbesserung der Bewetterung zum Einsatz kamen. Die Aeolipila (Bild 10) ist ein Beispiel dafür.

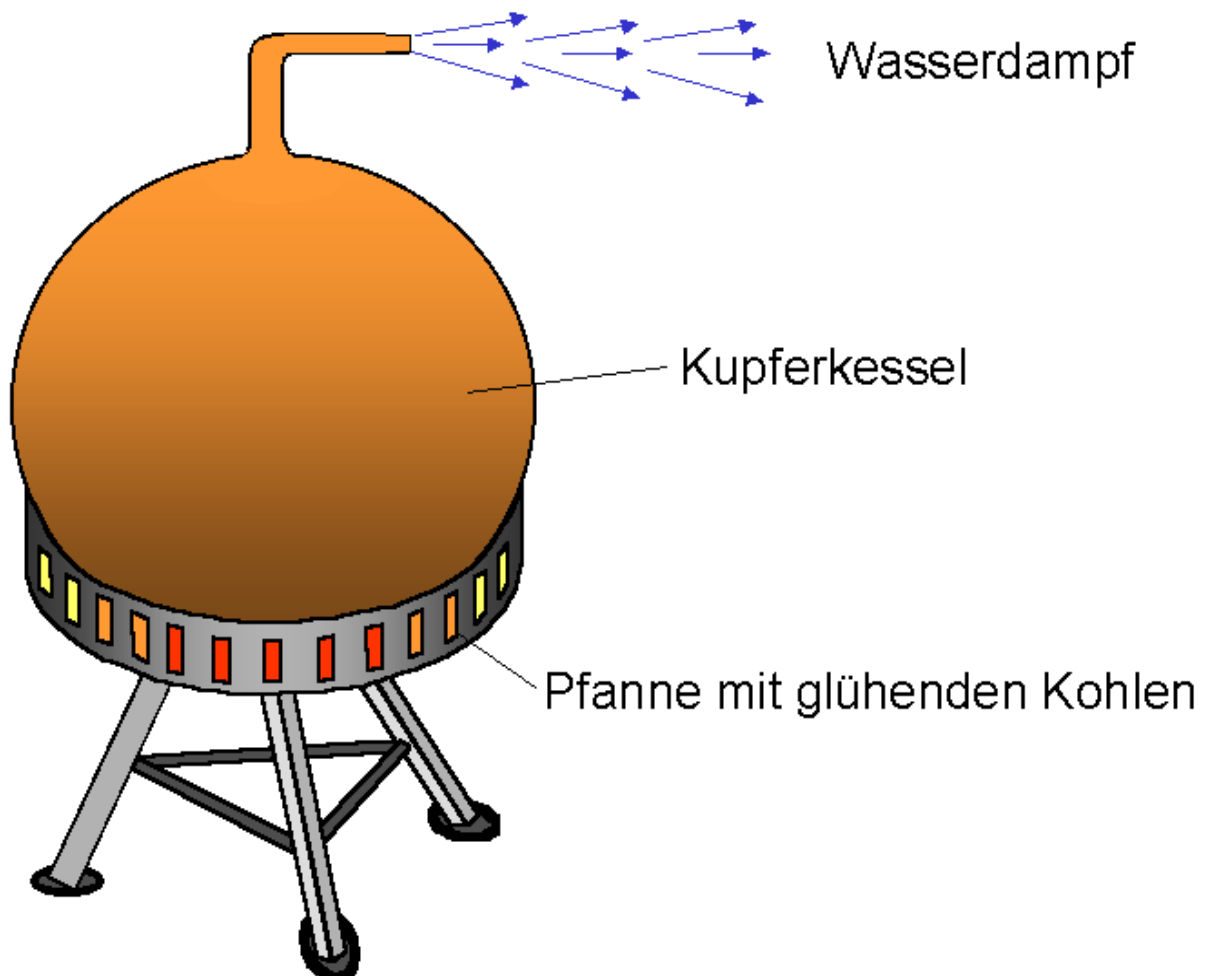


Bild 10: Aeolipila

Hierbei handelte es sich um einen mit Wasser gefüllten, kugelförmigen Kupferkessel. Der Kessel befand sich auf einer Pfanne mit glühender Kohle. Die Pfanne wurde von einem

Dreifuß getragen. Eine solche Aeolipila wurde dann vor Ort aufgestellt. Anfang des 18. Jahrhunderts wurde im Bergbau des Harzes sowie im sächsischen Bergbau sogar von angeblichen Erfolgen aufgrund des Einsatzes dieser Kugeln berichtet. Dies kann nur dadurch möglich gewesen sein, weil der mit hoher Geschwindigkeit austretende Wasserdampf die umgebenden Wetter verwirbelte und somit eine Erhöhung der Diffusion bewirkte. Calvör legte aufgrund seiner besseren physikalischen Kenntnisse in seinem Buch dar, warum die Aeolipila keinen Erfolg haben konnte. Sicherlich haben sich die Wetter durch den Einsatz der Aeolipila noch verschlimmert, denn zum einen bestand bei methanhaltigen Wettern aufgrund des Vorhandenseins glühender Kohlen Explosionsgefahr, zum anderen erzeugten die brennenden Kohlen das giftige Kohlenmonoxid, außerdem wurde bei der Verbrennung der ohnehin knappe Sauerstoff aus den Wettern verbraucht und schließlich wurden durch den heißen Wasserdampf vor Ort unangenehme klimatische Verhältnisse geschaffen. Die Bergleute konnten die Kugel zum Teil nicht ohne Gefahren mehr wegschaffen. Auf diese Weise sind diesem Hilfsmittel sehr viele Bergleute zum Opfer gefallen.

Auf die Wechselbeziehung zwischen Wandrauhigkeit und Wetterwiderstand von Lutten wies bereits 1778 Franz Ludwig Cancrin (*in Breidenbach im heutigen Kreis Marburg - Biedenkopf geborener hessisch - hanauischer Bergbauwissenschaftler, Mathematiker und Rechtsgelehrter, der zeitweilig im Dienst der russischen Zaren stand. Ihm zu Ehren wurde ein nephelinartiges Mineral vom Ural mit dem Namen Cancrinit benannt, 1738 – 1816*) hin. Cancrin, der sich entsprechend den Gepflogenheiten eines Gelehrten der damaligen Zeit „Cancrinus“ nannte, stellte unterschiedliche Arten von Wetterlutten mit Wetterfahnen sowie mit Wetterhüten dar. Von ihm stammen auch Darstellungen von Wetterrädern, die aufgrund der Übersetzungsverhältnisse von Räderwerken mit höheren Rotationsgeschwindigkeiten betrieben werden konnten.

Um die Mitte des 18. Jahrhunderts fand man auch in anderen europäischen Ländern eine Reihe von Wissenschaftlern, die sich mit wettertechnischen Problemen auseinandersetzen. So hat beispielsweise Märten Triewald (*schwedischer Mechaniker, 1691 – 1747*) den englischen Bergbau sehr eingehend studiert. In einer Abhandlung der Schwedischen Akademie der Wissenschaften aus den Jahren 1739 – 1741 schrieb Triewald im zweiten Band und Anders Celsius (*schwedischer Astronom und Physiker, 1701 – 1744*) im dritten Band über Themen zur Bewetterung. Zu ähnlichen Inhalten schrieb 1745 auch Michail Wassiljewitsch Lomonossow (*russischer Schriftsteller, Chemiker und Astronom, 1711 – 1765*) eine Abhandlung in den „Novis Comentariis Acad. Scient. imper. Petropolitans“.

Um 1780 wurde der Kanarienvogel, ein kleiner zutraulicher Finkenvogel, der ursprünglich auf den Kanarischen Inseln beheimatet war, in den Alpenraum eingeführt. Bei den Bergleuten in Imst (Tirol) entwickelte sich bald darauf mit der Zucht von Kanarienvögeln ein regelrechter Nebenerwerbszweig. Man stellte rasch fest, dass Kanarienvögel wesentlich eher auf giftige Grubengase reagierten als Menschen; das galt insbesondere für das hochgiftige Kohlenmonoxid. Daher nahmen die Bergleute Kanarienvögel in kleinen Käfigen mit in die Gruben. Wenn der kleine Kerl aufhörte zu singen und ohnmächtig oder tot von der Stange fiel, war es für die anwesenden Bergleute ein Anzeichen, möglichst schnell die Grube zu verlassen. Nachdem der Bergbau in Tirol immer mehr zurück ging, siedelten die Bergleute Anfang des 19. Jahrhunderts unter anderem in den Harz über. Dort setzten sie die Zucht der Kanarienvögel fort, so dass sich St. Andreasberg zum Zentrum der Harzer Kanarienzucht entwickelte. Wegen ihres besonderen Gesanges nannte man die kleinen gelben Vögel „Harzer Roller“.

Nachdem zu Beginn des 18. Jahrhunderts im Kohlenbergbau Großbritanniens noch überwiegend oberflächennahe Flöze abgebaut wurden, war man schon bald – früher als in Deutschland – gezwungen, zum Aufschluss weiterer Flöze in die Teufe zu gehen. Damit verbunden war jedoch der Nachteil, den Abbau in methanreicheren Flözen führen zu müssen, in denen allerdings die Gefahr von Schlagwetterexplosion gegeben war. Die zur damaligen Zeit gebräuchlichen Geleuchte der Bergleute waren entweder Kerzen oder Öllampen. So kam es immer häufiger vor, dass von diesen offenen Feuern verheerende

Schlagwetterexplosionen ausgingen, bei denen viele Bergleute ihr Leben verloren oder grauenhaft verletzt wurden. Eine verbreitete, wenn auch barbarische Methode, Methan zu beseitigen war es damals, vor jeder Schicht einen „fireman“ (Feuermann) nach vor Ort zu schicken. Dieser war in mit Wasser getränktem Sackleinen eingehüllt und trug eine Kerze, die am Ende einer langen Stange befestigt war. Seine Aufgabe war es, das Methan abzubrennen, bevor die übrigen Bergleute zu ihren Arbeitsplätzen kamen. Diesen Dienst an seinen Kameraden bezahlte der Feuermann oft mit seinem Leben. Daher entstand im Laufe des 18. Jahrhunderts die Absicht, das bergmännische Geleucht sicherer zu gestalten. Einer der ersten, aus heutiger Sicht sicher grotesken Vorschläge sah beispielsweise vor, sehr dünne Kerzen zu verwenden. Einer der

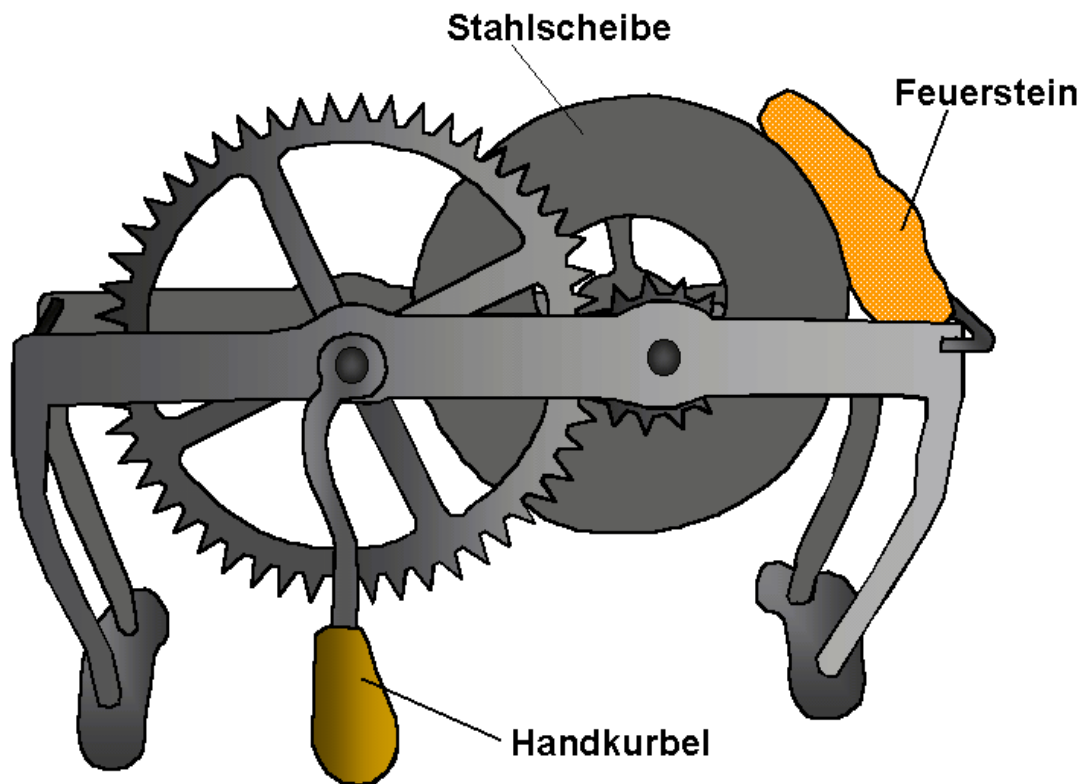


Bild 11: Flint Mill (Feuersteinmühle) nach Carlisle Spedding

ernsthafteren Vorschläge stammte aus dem Jahr 1733 von Carlisle Spedding (*Bergingenieur aus Nordengland, 1695 – 1755*) der „flint mills“ (Feuersteinmühlen) (Bild 11) entwickelte. Dabei wurde ein Feuerstein an eine sich drehende Stahlscheibe gehalten. Die Scheibe versetzte man mit Hilfe einer Handkurbel mittels einer Zahnradübersetzung in schnelle Rotationsbewegung. Dieses Gerät wurde auf die Brust eines Knaben geschnallt, dessen Aufgabe es war, einen kontinuierlichen Funkenregen zu erzeugen, um damit den Arbeitsplatz eines Bergmanns zu erhellen. Dieses Gerät hielt man für sicherer als eine Kerze. Das dadurch erzeugte Licht war jedoch äußerst schwach und mit Unterbrechungen versehen. Außerdem war es immer noch in der Lage, Methan zu entzünden.

Auch Alexander von Humboldt (*in Berlin geborener Erforscher Mittel- und Südamerikas, war kurz nach seinem Studium im sächsischen Freiberg von 1792 bis 1796 als Oberbergmeister tätig, 1769 – 1859*) entwickelte Grubenlampen, für wetternöthige Örter, Grubenlampen also, die auch in sauerstoffarmen Wettern brannten. Bei der im Bild 12 links dargestellten Lampe befand sich in ihrem oberen Teil ein Wasserbehälter, aus dem tropfenweise Wasser in den unteren Behälter auslief. Der dadurch verdrängte Sauerstoff wurde durch ein Zuleitungsrohr der Lampe zugeführt. Über Düsen, welche die Flamme umgaben, wurde somit der für die Verbrennung erforderliche Sauerstoff eingeblasen. Der Sauerstoffvorrat einer solchen Lampe soll je nach ihrer Größe bis zu fünf Stunden gereicht haben. Eine andere Art der von Humboldt entwickelten Lampen für sauerstoffarme Wetter ist die im Bild 12 rechts

dargestellte Blasenlampe. In der Praxis haben sich diese Lampen jedoch nicht durchsetzen können.

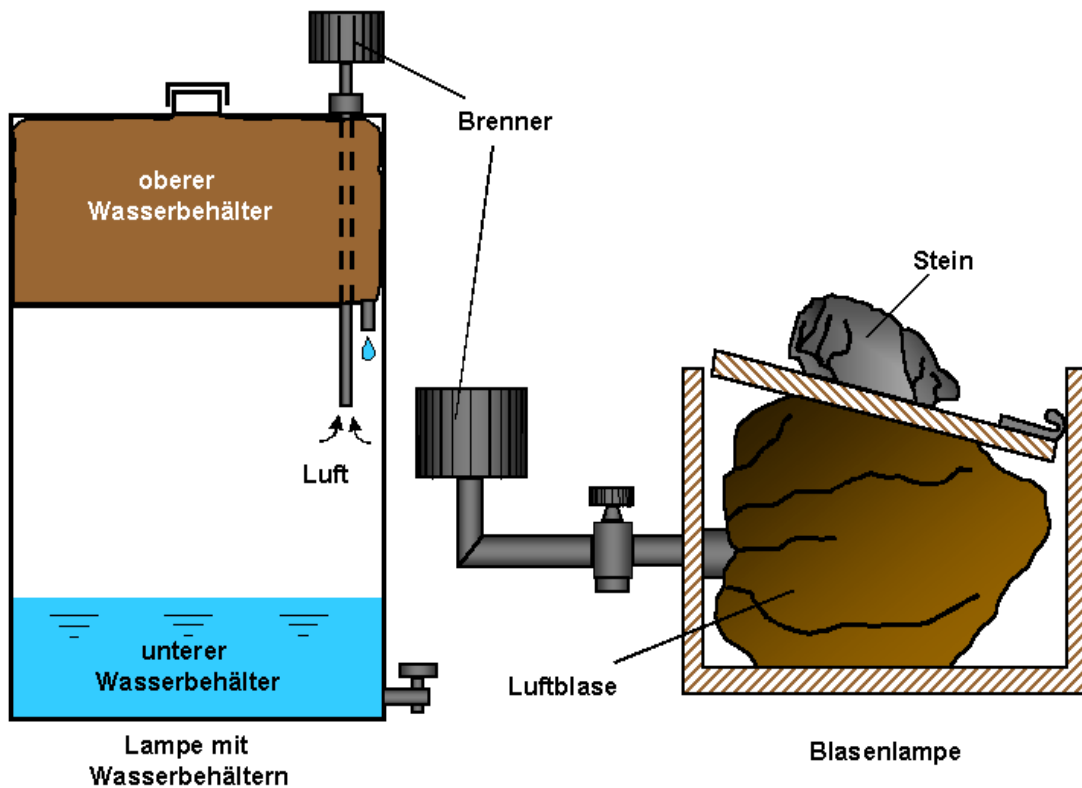


Bild 12: Grubenlampen nach Alexander von Humboldt

In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts setzte in Großbritannien durch die Erfindung der Dampfmaschine sowie des mechanischen Webstuhls eine industrielle Revolution ein, die als Folge eine erhöhte Kohlenförderung erforderlich machte. Die Arbeitsbedingungen in vielen Kohlenbergwerken waren für die dort beschäftigten Männer, Frauen und Kinder im 18. und 19. Jahrhundert geradezu schrecklich. Wetterbewegung wurde entweder durch natürlichen Auftrieb erzeugt – was allerdings nicht gelang, wenn untertage und an der Tagesoberfläche nahezu gleiche Temperaturen vorherrschten – oder durch das Entzünden von Feuer. Die ersten Wetteröfen dieser Epoche wurden an der Tagesoberfläche errichtet. Man stellte jedoch bald fest, dass brennende Kohle, die in einem Drahtkorb in einen ausziehenden Schacht hinabgelassen wurde, eine ausreichende Bewetterung erzeugte. Darüber hinaus stellte man fest, dass diese Wirkung umso günstiger war, desto tiefer der Korb im Schacht hing. Dies führte bald zum Bau von untertägigen Wetteröfen.

Die schier unersättliche Nachfrage nach immer mehr Kohle als Brennstoff für die Dampfmaschinen, das dadurch bedingte schnellere Vordringen in tiefere, methanreichere Flöze, unzureichende Bewetterungsverhältnisse, Wetteröfen mit offenen Feuern in methanhaltigen Abwetterbereichen und offenes Kerzenlicht bildeten aus heutiger Sicht einen Teufelskreis, unter dessen Bedingungen Massenunglücksfälle unausweichlich waren. George Stephenson (*bei Newcastle-upon Tyne geborener englischer Bergingenieur, 1781 – 1848*) kam im Rahmen einer von der Regierung in Auftrag gegebenen Untersuchung über eine Grubenexplosion aus dem Jahr 1835 zu dem Ergebnis, dass sich die Bergleute offensichtlich des Ausmaßes dieser Gefahren überhaupt nicht bewusst waren, denn gelegentlich entzündeten Bergleute absichtlich Methan-Firstschichten und erfreuten sich an den blauen Flammen, die über ihren Köpfen flackerten.

John Buddle (*Bergingenieur und Bergwerksdirektor aus dem Nordosten Englands, 1773 – 1843*) beschäftigte sich ausführlich mit Möglichkeiten zur Verbesserung der Bewetterung und zur Bekämpfung von Schlagwetterexplosionen. Dabei gelangen ihm zwei bedeutende

Fortschritte. Zum einen erfand er untertägige Wetteröfen, deren Feuer mit Frischluft versorgt wurden, die über eine Verbindungsstrecke unmittelbar von einem Frischwetterschacht zugeführt wurden. Die methanhaltigen Abwetter wurden am Feuer vorbeigeführt und kamen infolgedessen mit dem Feuer selbst nicht in Berührung. Die Abgase des Wetterofens waren noch ausreichend warm, um im Abwetterschacht einen kräftigen Kamineffekt zu erzeugen, andererseits waren sie bereits ausreichend abgekühlt, um die methanhaltigen Abwetter nicht mehr zu entzünden. Die zweite bedeutende Erfindung Buddles bestand darin, den Wetterstrom mittels Wettertüren sowie Wetterblenden aufzuteilen und jeden Abbaubereich eines Bergwerks durch eine separate Frisch- und Abwetteranbindung zu bewettern. Bis dahin waren die einzelnen Abbaubereiche wettertechnisch in Reihe geschaltet. Demzufolge nahmen die Methankonzentrationen kontinuierlich zu. Durch den neuen wettertechnischen Zuschnitt war es nunmehr möglich, jedem Abbaubereich einen höheren Wettervolumenstrom zuzuführen und gleichzeitig die Methankonzentrationen zu reduzieren.

Einen tragischer Höhepunkt im britischen Bergbau erreichte man 1812, als bei einer Schlagwetterexplosion in Felling bei Gateshead 92 Bergleute getötet wurden. Mit der Unterstützung örtlicher Geistlicher gründete man daraufhin eine Gesellschaft, deren Aufgabe es war, Mittel und Wege zu finden, solche Unglücksfälle zukünftig möglichst zu verhindern. Man knüpfte den Kontakt zu Sir Humphrey Davy (*Präsident der Royal Society, 1778 – 1829*) mit der Bitte um Unterstützung bei der Entwicklung einer Sicherheitslampe. Davy besuchte daraufhin John Buddle, um von ihm mehr Einzelheiten über die Bedingungen in den Kohlengruben zu erfahren. Da es zu der Zeit noch kein elektrisches Licht gab, kam als Lichtquelle nur eine Flamme infrage. Innerhalb einer kurzen Versuchsperiode fand Davy heraus, dass eine

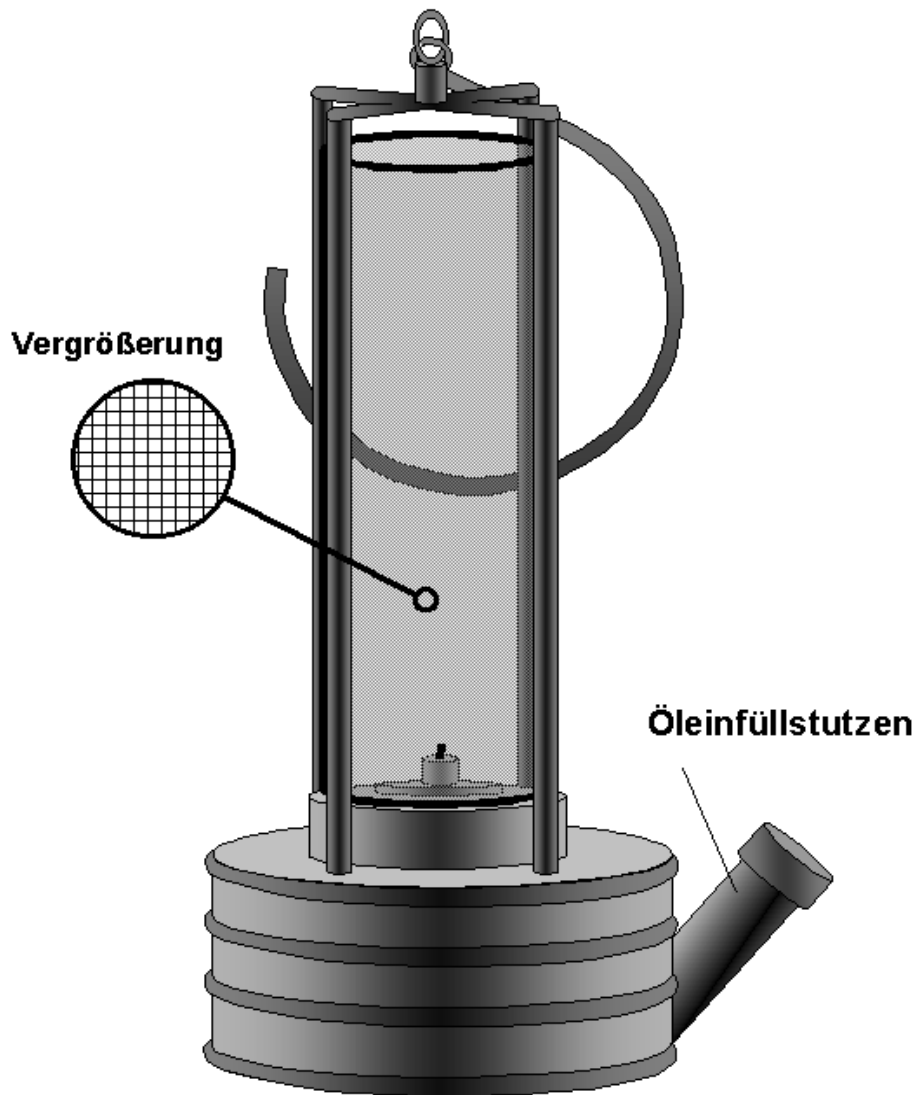


Bild 13: Davy Lampe

Flamme in einer methanhaltigen Atmosphäre nicht ohne weiteres durch ein dichtes Netz aus Drahtgewebe hindurchschlagen konnte. Das Drahtnetz sollte dabei 625 Öffnungen pro Quadrat Zoll (etwa 0,97 Öffnungen pro mm^2) und eine Drahtdicke von 1/70 Zoll (etwa \varnothing 0,36 mm) besitzen. Das war die Geburtsstunde der Davy Lampe (Bild 13). John Buddle testete die Davy Lampe zunächst über Tage in einer explosionsfähigen Atmosphäre und nahm sie anschließend mit nach unter Tage. Als er dort feststellte, dass die Lampe rot glühend wurde, sagte er zu den dort anwesenden Begleitern: „Endlich haben wir das Ungeheuer besiegt.“ Die Lampe wurde deshalb rot glühend, weil das Methan heftig in ihr brannte. Die Flammen konnten jedoch nicht durch das dichte Netz aus Drahtgewebe hindurchschlagen um die dort umgebenden schlagenden Wetter zu entzünden. Zur Erhöhung der Sicherheit baute Davy später doppelte Drahtkörbe in seine Lampen ein. Die Davy Lampen wurden zunächst auf britischen Bergwerken eingeführt und fanden schließlich auch Eingang in den Bergbau anderer Länder. Trotz alledem wurden aufgrund unzureichender gesetzlicher Sanktionen während des gesamten 19. Jahrhunderts weiterhin in großem Umfang Kerzen eingesetzt, da von ihnen eine bessere Leuchtkraft ausging. Spätere Konstruktionen beinhalteten Glaszylinder als Lampenglas, nachdem die Glasindustrie Fortschritte machte und die Lampengläser bei höheren Temperaturen nicht mehr zersprangen.

Einer der ersten Gelehrten, deren Arbeitsmethoden bereits die Eigenart eines neuzeitlichen Wissenschaftlers charakterisierte, war Julius Ludwig Weisbach (*Professor für angewandte Mathematik, Mechanik, Bergmaschinenlehre und allgemeine Markscheidkunst an der Bergakademie Freiberg, 1806 – 1871*). Er war unter anderem Schöpfer der neuen Markscheidkunst, indem er das alte Messverfahren mit Kette, Gradbogen und Kompass endgültig durch die "Visiermethode" mit Theodolit und Nivelliergerät ersetzte. Er beschäftigte sich mit mathematischen Problemen wie zum Beispiel mit der darstellenden Geometrie. Er befasste sich mit thermodynamischen Problemen und Begriffen, wie Kraft (Energie), Wärme, relative Leistung (Wirkungsgrad), Dampfgesetze, Dampfmaschinen mit Berechnung der theoretischen Arbeit für die vollständige Expansion, sowie Aufzählung der Verluste. 1859 bestimmte er experimentell über Ausflussversuche mit Luft die spezifischen Wärmekapazitäten bei konstantem Druck und bei konstantem Volumen, den Isentropenexponenten und das mechanische Äquivalent der Wärme. Außerdem nahm die Strömungslehre einen wichtigen Teil seines wissenschaftlichen Wirkens ein. Bis zur Einführung der SI-Einheiten (Système International d'Unités) trug die Einheit des Wetterwiderstandes von Grubenbauen zu Ehren dieses hervorragenden Wissenschaftlers die Bezeichnung „Weisbach“ beziehungsweise „Milliweisbach“.

Trotz fortgeschrittener wissenschaftlicher Kenntnisse, Verfahren und Einrichtungen auf dem Gebiet der Wettertechnik haben sich jedoch die althergebrachten Methoden noch lange halten können. Aus einem von W. Leo veröffentlichten Buch ‚Erster Unterricht im Bergbau‘ [23] ist folgender Abschnitt überliefert:

„Hat man z. B. Schwaden in einem Abteufen, so hilft man sich dagegen, dass man einige Zober kochendes Wasser in das Abteufen gießt.

Man hängt auch wohl an einem Seil einen Busch in ein solches Abteufen, und bringt durch öfteres Hinauf- und Hinabziehen desselben den Schwaden in Bewegung; man füllt auch wohl ein Gefäß mit Spiritus, zündet diesen an und lässt ihn in das Abteufen hinab.

Wo man schlagende Wetter hat, lässt man die Firste mit Besen abkehren, zündet auch die Wetter von Zeit zu Zeit an“

In England hatte man 1852 den Zusammenhang zwischen dem stärkeren Freiwerden von Grubengas und sinkendem atmosphärischen Luftdruck erkannt. Infolge dessen wurden auf vielen englischen Gruben Barometer angeschafft, um Luftdruckveränderungen rechtzeitig erkennen zu können. In Frankreich wurde wegen dieses erkannten Zusammenhangs die Überdruckbewetterung erfunden. Dieser Erfindung gab man jedoch wenig Aussichten auf Erfolg mit der Begründung des viel zu hohen Gasdrucks einerseits und der Zeitverzögerung zwischen dem Sinken des Luftdrucks und dem Höherfahren des Hauptgrubenventilators andererseits.

Im Jahr 1865 existierten in den belgischen Steinkohlenrevieren schon 200 mit Dampf betriebene Hauptgrubenventilatoren, die man zu der Zeit noch Wetter- oder Ventilationsmaschinen nannte. Dabei handelte es sich vorwiegend um Radialventilatoren, die man zu jener Zeit „Centrifugalventilatoren“ nannte. Belgien galt damals als das „Mutterland der Wettermaschinen“. Obwohl es im Ruhrrevier zur gleichen Zeit schon 234 Steinkohlenbergwerke gab, betrieb man allerdings erst 15 Hauptgrubenventilatoren. Man favorisierte noch die künstliche Erhöhung der natürlichen Bewetterung durch den Einsatz hoher Wetteressen oder durch Verwendung der in England weiterentwickelten Wetteröfen. Gründe dafür waren zum einen, dass die zu Tage ausbeißenden Esskohlenflöze der Stollenzechen nahezu gasfrei waren. Andererseits waren diese einfachen Einrichtungen hinsichtlich des erzeugten Wettervolumenstroms sowie ihrer Betriebssicherheit den damaligen Hauptgrubenventilatoren noch deutlich überlegen. Zu den besten Hauptgrubenventilatoren jener Zeit galten Radialventilatoren der Bauart Guibal (Bild 14) (Theophile Guibal, belgischer Ingenieur, 1813 – ?). Diese Ventilatorbauart besaß bereits drei wesentliche Konstruktionsmerkmale, die noch heute im modernen Ventilatorenbau anzutreffen sind: das geschlossene Spiralgehäuse, den Diffusor und den Wetterschieber zur

Einstellung des Drosselzustandes. Da die Guibal'schen Ventilatoren von solider Konstruktion waren und mit ihnen die größten Betriebserfahrungen vorlagen, war dies auch bald die am meisten betriebene Bauart im Ruhrrevier.

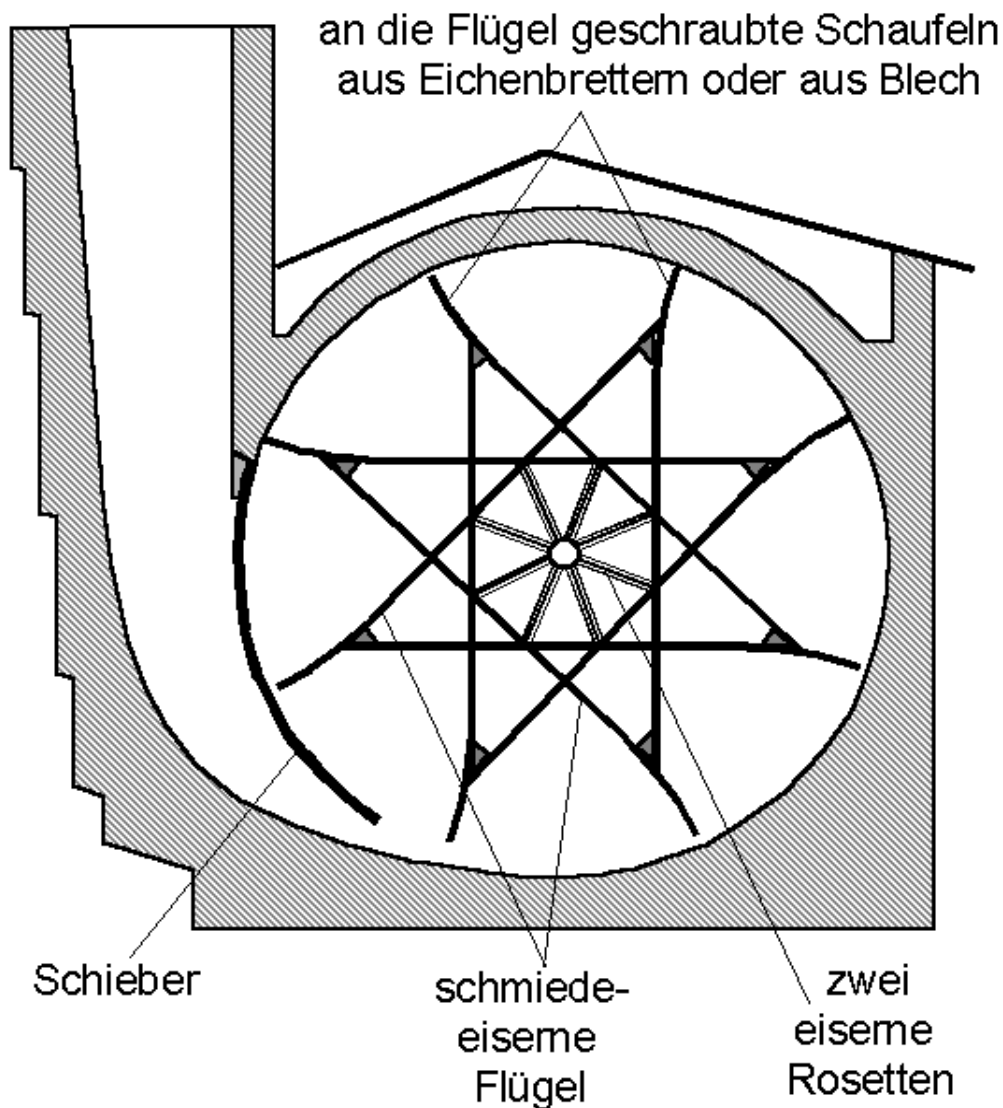


Bild 14: Radialventilator der Bauart Guibal

Auf der englischen Steinkohlengrube Ferndale ereignete sich 1868 eine Schlagwetterexplosion, der 86 Menschen zum Opfer fielen. Ursache dieses Unglücks war zunächst ein Methangasausbruch aus einem etwa 1 Meter mächtigen Hangendflöz. Dabei entzündete sich das freigewordene Gas an einer defekten Sicherheitslampe. Infolge dessen entsprang 1869 der Gedanke des Schutzflözabbaus. Dabei handelt es sich um den Abbau eines Flözes außerhalb der üblichen Abbaufolge. Während dieses Abbaus wird ein hangendes oder liegendes Flöz schon soweit vorentgast, dass bei seinem späteren Abbau keine hohe Ausgasung mehr zu erwarten ist. Als weitere Vorschläge aus dem Ereignis von Ferndale wurde empfohlen, Doppelstrecken zu verlassen, das Grubengebäude in einzelne voneinander getrennte Wetterabteilungen aufzuteilen, sowie anstelle des Pfeilerbaus die Wetterführung mit Strebbau zu vereinfachen. Die wettertechnischen Vorzüge des Strebbaus gegenüber dem Pfeilerbau bestanden einerseits darin, dass das Volumen der offenen Grubenräume und die gesamte Länge des offenen Kohlenstoßes kleiner waren. Andererseits

vollzog sich das Setzen des Hangenden gleichmäßiger und auf weitere Flächen, so dass sich der Bruchraum vollständig und fest versetzte.

In den Jahren 1868 bis 1871 befuhr eine im Oberbergamtsbezirk Dortmund eingesetzte Wetter-Untersuchungskommission eine größere Anzahl von Bergwerken. Dabei wurden unter anderem folgende Mängel festgestellt:

- Ø zu geringes Wetterquantum je Mann und Minute
- Ø zu geringes Ausnutzen des Wetterquantums vor Ort infolge von Wetterkurzschlüssen
- Ø zu schwache Antriebe für die Ventilatoren
- Ø zu geringe Querschnitte der Schächte und Strecken
- Ø das Ein-Schacht-System
- Ø mangelhafte Trennung zwischen dem einziehenden und ausziehenden Wetterstrom
- Ø Versagen der Wetterscheider unter Gebirgsdruck

Die Beseitigung dieser Mängel trieb man in der Folgezeit voran, was unter anderem dazu führte, dass bis 1884 der durchschnittliche Wettervolumenstrom je Zeche von 307 m³/min auf 741 m³/min und der Wetterbedarf je Kopf der Belegschaft von 2,0 m³/min auf 2,15 m³/min erhöht werden konnte. Dazu gehörte auch die Bergpolizei-Verordnung des Kgl. Oberbergamtes Dortmund von 1881, die den Übergang zum Zwei-Schacht-System erzwang, indem sie neue Zechen im Ein-Schacht-System nur noch in Ausnahmefällen zuließ.

Zu jener Zeit setzte auch eine rege Weiterentwicklung im Bereich des Ventilatorenbaus ein. Mit den sogenannten Schnellläufern entstand im Gegensatz zum Langsamläufer von Guibal eine neue Generation von Ventilatoren. Die Schnellläufer waren wesentlich kleiner konstruiert als die Guibald-Ventilatoren, die mit Durchmessern von 9 bis 12 Metern viel zu große Laufräder im Verhältnis zur Grubenweite hatten. Man hatte zuvor irrtümlich geglaubt, große Ventilatoren würden auch auf sehr engen Gruben große Wettervolumenströme liefern. Die Schnellläufer boten zudem den großen Vorteil, bei Gefahr im Bedarfsfall den Wettervolumenstrom durch Drehzahlregelung erhöhen zu können.

Im Bergbau waren Hauptgrubenventilatoren ebenso wie Wasserpumpen und Schachtfördermaschinen die ersten Großmaschinen. Der Wirtschaftlichkeit des Antriebs eines Hauptgrubenventilators wurde deshalb – neben seiner Stärke und seiner Regelbarkeit – besondere Bedeutung beigemessen. Dies galt insbesondere, nachdem 1895 die ersten elektrobetriebenen Hauptgrubenventilatoren auf der Saar-Zeche Gerhard sowie auf den Ruhr-Zechen Rhein-Elbe und Ver. Bonifacius zum Einsatz kamen. Damit trat der Elektromotor mit der Dampfmaschine in Konkurrenz. Hatte beispielsweise die Außenanlage eines Bergwerks keine eigene Dampfmaschinenanlage, dann war der Elektroantrieb mit Stromzuleitung wirtschaftlicher als eine Dampfzuleitung über größere Entfernungen und insbesondere wirtschaftlicher als die Errichtung einer neuen Dampfmaschinenanlage. Andererseits besaßen die großen deutschen Steinkohlenbergwerke vielfach leistungsfähige zentrale Dampfmaschinenanlagen; damit wiederum waren Drehstrommotoren dem Dampftrieb wirtschaftlich unterlegen.

Bezüglich der Grubengasabsaugung kam um 1876 aus dem französischen Bergbau der Vorschlag, in Abständen von 10 bis 20 Metern in den Streckenfirsten große glockenförmige Aushöhlungen auszubrechen. Aufgrund der geringeren Dichte des Grubengases gegenüber Luft würde sich das Grubengas dort ansammeln und könne durch Rohrleitungen abgeführt werden. Ähnliche Versuche unternahm man auch 1886/88 auf der Königsgrube im Aachener Wurmrevier. Dabei installierte man vor Ort am Hangenden oder an der Firste trichterförmige Saugköpfe, die über ein Rohrleitungssystem mit einem über Tage aufgestellten Kompressor verbunden waren. Der Methangehalt des abgesaugten Grubengases unterlag starken Schwankungen und erreichte Werte zwischen mehr als 10 Vol.-% aber auch von nahezu 0 Vol.-%. Eine anfänglich geplante Verwertung des abgesaugten Grubengases war somit nicht möglich.

Trotz weiteren Fortschrittes auf dem Gebiet der Grubenbewetterung im westfälischen Revier war die Anzahl der Explosionen und der dabei Getöteten weiterhin erheblich. Ein Grund

dafür war gewiss im Leichtsinn der Arbeiter zu sehen, die trotz aller Warnungen und Anweisungen ihrer Vorgesetzten die Vorschriften missachteten. Im Zeitraum von 1861 bis 1880 ereigneten sich auf 77 Zechen 187 Schlagwetterexplosionen, bei denen 595 Bergleute getötet wurden. Fast zeitgleich wurden in sechs europäischen Staaten besondere Kommissionen eingesetzt, die sich mit der Verbesserung auf dem Gebiet der dringlichen „Schlagwetter-Frage“ zu beschäftigen hatten: In Frankreich geschah dies 1877, in England 1879, in Belgien 1879, in Sachsen 1880, in Preußen 1881 und in Österreich 1885. Im Abschlussbericht der belgischen Untersuchungskommission unterschied Alfred Habets (*Professor an der Lütticher Ecole des mines*) erstmals zwischen dem Grubengas aus dem Flöz und dem Grubengas aus alten Grubenbauen. Des weiteren wies er darauf hin, dass stark gespanntes Gas durch Vorbohren unschädlich gemacht und rechtzeitig abgesaugt werden könne, was allerdings nicht genüge, um Explosionen zu vermeiden. Im belgischen Untersuchungsbericht wurde auch der Kohlenstaub erwähnt, der – wie erst kurz zuvor bekannt wurde – imstande war, eine Explosion über weite Abstände zu übertragen. Vor dem Hintergrund, dass damals ein erheblicher Anteil der Bergarbeiter noch Analphabeten waren, wurde schließlich die Forderung nach allgemeiner Bildung sowie nach technischem Unterricht an guten Bergschulen erhoben, um befähigte junge Bergleute zu tüchtigen Grubenbeamten heranbilden zu können.

Die im Jahr 1881 eingesetzte preußische Schlagwetter-Kommission kam mit ihrem 1885 veröffentlichten Schlussbericht der Lokalabteilung Dortmund zu Erkenntnissen, die durchaus als bahnbrechend angesehen werden konnten. Dazu gehörten:

- Ø Wetterbe-
darf: mindestens 2 m³/min je Kopf auf der am stärksten belegten Schicht
- Ø Wetterquer-
schnitt: mindestens 3 m² für neu aufzufahrende Hauptwetterwege und Wettertrümmer
- Ø Wetterge-
schwindigkeit: höchstens 6 m/s in Wetterschächten und Hauptwetterstrecken bzw. 4 m/s in allen anderen Wetterwegen
- Ø Wetter-
messung: regelmäßiges Beobachten des Barometers auf Schlagwettergruben, Messen der Temperatur an heißen Betriebspunkten, vermehrte chemische Analyse der Grubenwetter und zwar außer auf CH₄ und CO₂ auch auf andere Gase
- Ø Wetter-
temperatur: die Grubenbeamten sind mit Thermometern zu versehen und die Wittertemperaturen sind durch verstärkte Ventilation möglichst zu erniedrigen, um die Arbeiter der Versuchung zu entziehen, sich bei der Arbeit zu entblößen.

Hinsichtlich des Sicherheitsgelechts kam die Kommission zu der Erkenntnis, dass 60 % aller Explosionen durch das System des „gemischten Gelechts“ – das ist der Einsatz unterschiedlicher Lampentypen auf ein und derselben Zeche – verursacht worden sind. Die preußische Schlagwetter-Kommission war aber auch der Geburtshelfer des Wettersteigers. Sein Geburtstag war der 19. November 1884, denn unter Punkt 9 hieß es: „Behufs Beaufsichtigung der gesamten Ventilations-Einrichtungen ist auf allen größeren Gruben die Anstellung besonderer verantwortlicher Beamten erforderlich“

Ein Ergebnis der sächsischen Untersuchungskommission war der Erlass der „Allgemeinen Bergpolizei-Vorschriften“ vom 25.3. 1886, wonach auf den sächsischen Gruben Sicherheitsgeleucht eingeführt werden musste. Seit 1881 bestand allerdings schon eine Verfügung allgemeiner Art, so dass die meisten Gruben diesen Schritt bis dahin bereits getan hatten.

In England verwendete man auf der Suche nach weniger rußenden Brennstoffen für Sicherheitslampen gereinigtes Rapsöl mit Zusätzen von Paraffinöl. Versuche mit Petroleum

als Brennstoff führten zu Unfällen. Daher kehrte man zu Rüböl mit Petroleumzusätzen zurück.

Eine Sicherheitslampe der Firma Carl Wolf aus Zwickau in Sachsen wurde mit Benzin gefüllt und brannte mit heller Flamme ohne Rußbildung (Bild 15). Ein Herausschwappen des Benzins hätte die Lampe schnell explodieren und damit durchschlagen lassen. Um dies zu verhindern, wurde der Topf mit entfetteter, saugfähiger Baumwollwatte gefüllt und nur soviel



Bild 15: Grundsätzliche Darstellung der Benzin-Sicherheitslampe

Benzin hineingeschüttet, wie die Wattefüllung aufzusaugen vermochte. Zusätzliche Anforderungen wurden an die Dichtungen gestellt, weil die Erwärmung der Lampe im Betrieb das Benzin zum schnelleren Verdunsten bringen konnte. Auf Anordnung des Königlichen Sächsischen Bergamtes vom 5.10.1882 wurde die Benzin-Sicherheitslampe auf ihr Verhalten beim Erhitzen in normaler Atmosphäre und in Schlagwettern intensiv geprüft. Die Lampe bestand diese Prüfungen ohne Einschränkungen. Selbst ein Übergießen der brennenden Lampe mit Benzin führte im ungünstigsten Fall nur zum Erlöschen der Lampe. Zu den Vorzügen dieser Lampe zählte gewiss auch die „unbedingte Sicherheit gegen unbefugtes Öffnen“. Dazu verwendete man einen Magnetverschluss. 1883 erhielt die Lampe einen verbesserten Magnetverschluss sowie eine innere Zündvorrichtung.

Zwischen 1860 und 1880 waren einige Gruben erstellt worden, die bereits Teufen von über 500 m erreichten. Wie schon aus dem Schlussbericht der Lokalabteilung Dortmund der

preußischen Schlagwetter-Kommission zu ersehen ist, begann in dieser Zeit die Wettertemperatur eine nicht unerhebliche Bedeutung zu erlangen. Die Bergpolizei-Verordnung von 1887 des Kgl. Oberbergamtes Dortmund sah für Betriebspunkte mit Wettertemperaturen ab 29°C die Sechs-Stunden-Schicht vor. Durch das Allgemeine Berggesetz von 1892/95 wurde diese Temperaturgrenze für Steinkohlenbergwerke sogar auf 28°C gesenkt. Die einfachste und damals auch technisch einzige Möglichkeit, diese Temperaturgrenze einzuhalten bestand darin, die Wettervolumenströme und die Wettergeschwindigkeiten zu erhöhen; letztere waren jedoch behördlicherseits auf 6 m/s begrenzt. Bis zur Jahrhundertwende stieg das durchschnittliche Wetterangebot je Kopf der Belegschaft auf rd. 5 m³/min, wobei ein Pferd rechnerisch fünf Menschen entsprach. Der hauptsächliche Grund für die Wettererwärmung war die mit der Teufenzunahme gestiegene Gebirgstemperatur. Zwischen 1899 und 1900 wurden auf 44 Steinkohlenbergwerken des Ruhrreviers über 200 Gebirgstemperatur-Messungen in ungefähr 2 m tiefen Bohrlöchern vorgenommen. Dabei kam man zu dem Ergebnis, dass im Durchschnitt des Ruhrreviers je 25 m bis 28 m Teufenzunahme ein Temperaturanstieg um 1°C zu erwarten sei. Erforderte die Gewährleistung eines ausreichenden durchgehenden Wetterstroms schon einen erheblichen Entwicklungsaufwand, so war die Bewetterung von Streckenvortrieben oder des Ortsbereichs im Örterbau umso schwieriger, weil der Hauptwetterstrom dort nicht von selbst hingelangen konnte. Anfänglich bediente man sich des Wetterzugs aus dem Hauptwetterstrom und nutzte dessen Bewegungsenergie zur Überwindung des Strömungswiderstandes des angeschlossenen Leitungssystems. Als Leitungssystem verwendete man entweder Wetterlутten aus Holz oder Blech oder Wetterscheider aus Segeltuch, Holz, Mauerwerk oder Bergen. Diese Art der Bewetterung nannte man „Selbstzugbewetterung“ oder „Spezialventilation“. Dazu gehörte auch das kostenintensive Parallelstreckensystem. Es waren jedoch auch schon Maschinen zur Sonderbewetterung bekannt, sogenannte Wettermühlen; das waren tragbare Radialventilatoren, die von zwei gering bezahlten Bergleuten von Hand gedreht wurden. Diese schiefen bei dieser monotonen Arbeit an der Wettermühle vielfach ein. Auch während des Schichtwechsels war die Sonderbewetterung häufig unterbrochen. Inzwischen nutzte man jedoch für Gewinnungs- und Bohrmaschinen den Druckluftantrieb. Zur Staubbekämpfung diente unter höherem Druck stehendes Berieselungswasser. Daher führte man ebenfalls als Antriebe der Sonderbewetterungsventilatoren Einkolben-Druckluftmotoren beziehungsweise mit Druckwasser betriebene Peltonturbinen und ab 1895 schließlich auch Antriebe mit Elektromotoren ein. Auf einer Grundplatte standen gemeinsam ein Radialventilator und ein direkt daran angeschlossener Drehstrommotor. Auf den Saar-Zechen Reden und König war der Stand der Sonderbewetterung schon weiter ausgereift, so dass 1895 bereits durchschnittlich 17 bis 18 m³/min Wetter nach vor Ort transportiert wurden, was einem Wettervolumenstrom von 4 bis 5 m³/min je Kopf der Vor-Ort-Belegschaft entsprach. Für die Sonderbewetterung galten im Saarbergbau folgende Grundsätze:

- Ø weitere Lутten sind wirkungsvoller als stärkere Ventilatoren
- Ø Lутten aus verzinktem glatten Eisenblech sind Lутten aus glattem Zinkblech und erst recht solchen aus Wellblech vorzuziehen
- Ø Großer Wert ist zu legen auf sorgfältige Herstellung der Lутten, T-Stücke und Krümmer
- Ø je größer der Wetterbedarf vor Ort, um so dichtere Lутtenverbindungen sind einzubauen
- Ø der Sonderlüfter ist wirtschaftlicher als das Luftstrahlgebläse und dieses wiederum wirtschaftlicher als das direkte Ausblasen der Druckluft
- Ø die Wahl des Lüfterantriebs → Druckluft oder Druckwasser → hängt ab von der Energiewirtschaft der Grube
- Ø die Sonderbewetterung muß blasend arbeiten
- Ø um Schlagwetteransammlungen im rückwärtigen Teil der Strecke zu verdünnen, bohrt man die Luttentour an und setzt Blechdüsen auf

Holz und Blech blieben lange Zeit als Lутtenwandungswerkstoffe gebräuchlich. 1898 wurden auf der Zeche Deutscher Kaiser Wetterlутten aus Segeltuch, das mit Kautschuk beschichtet wurde, eingesetzt. Die flexiblen Lутten hatten einen Durchmesser von 420 mm. Ihren

kreisrunden Querschnitt stellten Stahlringe her, die in etwa 500 mm Abstand auf die Lutten genäht waren. Die Länge einer Lutte wurde mit 5 bis 10 m gewählt. Ein Mann konnte 20 m Lutte gut transportieren. In einem Förderwagen hatten 80 bis 100 m flexible Lutten Platz.

Etwa seit dem 14. Jahrhundert verwendete man in Europa das Schwarzpulver als Sprengmittel - überwiegend zu rein militärischen Zwecken aber auch zum Lösen von Gestein im Bergbau. Das Schwarzpulver hat seinen Namen von seinem Erfinder, dem Mönch Berthold Schwarz —nicht etwa von seiner Farbe. Überlieferungen zufolge stammt die Erfindung ursprünglich aus dem 12. Jahrhundert aus China. Schwarzpulver ist eine Mischung aus 75 % Kaliumnitrat (*Salpeter*), 15 % Holzkohle und 10 % Schwefel. Doch es war sehr unzuverlässig, vor allem wenn es nass wurde. Außerdem kam es damit immer wieder zu tödlichen Unfällen. Der erste moderne Sprengstoff war Nitrocellulose, den man erstmals 1846 hergestellt. Nitrocellulose hatte eine deutlich höhere Sprengkraft als Schwarzpulver. Jedoch kam es im Umgang mit diesem Sprengstoff zu häufigen Explosionsunfällen. Schließlich wurde die Produktion weltweit eingestellt. Zeitgleich entwickelte Immanuel Nobel (*schwedischer Architekt, Baumeister und Produzent von Tret- und Seeminen, 1801 – 1872*) zusammen mit seinen Söhnen, vor allem dem drittältesten Sohn Alfred Bernhard Nobel (*im schwedischen Stockholm geborener Chemiker und Erfinder, 21.10.1833 – 10.12.1896*), einen neuen Sprengstoff auf der Grundlage des preiswerten Nitroglycerin. Das vermischten sie mit Schwarzpulver. Als Initialzündung (das heißt, eine kleine Menge Sprengstoff bringt die große Menge zur Explosion) verwendeten sie Knallquecksilber (Quecksilberfulminat, kristallines, stark giftiges, hochexplosives Salz der Knallsäure, das durch Schlag, Stoß, Reibung oder Erhitzen über 100 °C verpufft; für Zündhütchen verwendet). Diesen Sprengstoff nannte Nobel Sprengöl und pries es als ungefährlich an. Nitroglycerin ist jedoch gegen Stöße oder Reibung sehr empfindlich, so dass es stets mit inerten, das heißt nicht wirksamen Materialien gemischt werden musste. Doch leider kam es auch mit diesem Sprengstoff immer wieder zu katastrophalen Unglücksfällen. Durch Zufall vermischte Alfred Nobel 1867 sein Sprengöl mit einer weißen Erde (Kieselgur), die als Transportsicherung eingesetzt war. Jetzt hatte er einen Feststoff als Sprengstoff, das Dynamit. Das Dynamit wurde mit großem Erfolg im Bergbau eingesetzt. Aber auch mit dem Dynamit kam es immer wieder zu Problemen und Unglücksfällen. Ein besonderes Problem waren im Kohlenbergbau das Vorhandensein von zündfähigem Methan sowie der durch Explosion aufgewirbelte Kohlenstaub, der sich dann zu einer Kohlenstaubexplosion weiter entzünden konnte. Deshalb wurde das Dynamit immer weiter verbessert, indem beispielsweise Salze dem Dynamit beigefügt wurden. Die hierzu eingesetzten Substanzen verringerten die Gefahr von Bränden oder Explosionen; das bedeutet, die Flammen bei der Detonation durften nur kurzzeitig und bei relativ niedriger Temperatur brennen, so dass sie das möglicherweise vorhandene Methan in den Wettern nicht zünden konnten. So entstanden Sicherheitssprengstoffe, die auch „Wettersprengstoffe“ genannt wurden.

1.5 Grubenbewetterung im 20. Jahrhundert

1.5.1 Explosionssperren

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde man sich darüber bewusst, dass selbst in einem Zustand, bei dem es bereits zu einem Explosionsereignis gekommen ist, die verheerenden Auswirkungen davon weitgehend minimiert werden sollten. Jules Lucien Jacques Taffanel (*französischer Bergingenieur, 1875 – 1946*) und George S. Rice (*leitender Bergingenieur beim United States Bureau of Mines*) führten daher die ersten Explosionsversuche durch, um dieses Phänomen besser zu erforschen. Man stellte fest, dass bei der Ausbreitung einer Explosion eine Druckwelle vorauseilte und eine Flammenfront mit einer gewissen Zeitverzögerung nachlief. Der Überlieferung nach soll Taffanel zuerst die Idee gehabt haben, zum Ablöschen einer Kohlenstaubexplosion Gesteinsstaub in konzentrierter Form einzusetzen. Die Konstruktion einer Gesteinsstaubsperrung war derart gestaltet, dass Gesteinsstaub auf eine Bühne im oberen Teil eines Streckenquerschnitts aufgeschüttet

wurde. Die Bühne musste einerseits so stabil aufgehängt werden, dass sie unter normalen Betriebsbedingungen nicht abstürzen konnte. Durch den vorauseilenden Winddruck einer Explosion musste andererseits gewährleistet sein, dass die Bühnenkonstruktion unbedingt auseinanderfallen und der Gesteinsstaub dabei frei herabfallen konnten. Die nachfolgende Flammenfront sollte dann durch den herabfallenden Gesteinsstaub gelöscht werden. Doch es dauerte bis in die 30er Jahre des 20. Jahrhunderts, bis die Idee der Gesteinsstaubsperre in die Praxis umgesetzt wurde. Es musste nämlich aufgrund einer Vielzahl von Explosionsversuchen herausgefunden werden, welche Menge Gesteinsstaub je Bühne und welcher Abstand der Bühnen untereinander erforderlich waren, damit sich der gewünschte Löscherfolg einstellen konnte. In Deutschland wurden entsprechende Untersuchungen auf den Versuchsgruben Tremonia und Hibernia durchgeführt.

Parallel zur Entwicklung von Gesteinsstaubsperren führte Taffanel 1911 erste Explosionsversuche mit Wassersperren durch, die als kippbare Tröge und Holzkästen ausgeführt waren. Auch im Bergbau Mährens (in der heutigen tschechischen Republik) wurden 1913 Wassersperren mit Erfolg getestet. 1919 erprobte man in den USA Wassersperren, eine Weiterentwicklung wurde allerdings nicht weiter verfolgt. Ebenfalls 1919 wurden auf der Bergbau-Versuchsstrecke in Dortmund-Derne Explosionsversuche mit Wassersperren durchgeführt, bei denen drehbar gelagerte Holztröge zur Aufnahme des Wassers dienten. Obwohl man davon ausging, dass Wasser eine bessere Löschwirkung haben müsste als Gesteinsstaub, ergaben die Experimente keine erkennbaren Vorteile gegenüber Gesteinsstaubsperren. Der Grund hierfür lag sicherlich in der Verwendung starrer Holzkästen, die keine reproduzierbare löschwirksame Wasserverteilung im Raum ermöglichten. Erst 1940 gelang es auf der Versuchsgrube Hibernia Wassertrogsperrn einzusetzen, die sowohl bei Kohlenstaubexplosionen als auch bei Schlagwetterexplosionen den Gesteinsstaubsperren überlegen waren. Die Wassertröge bestanden dabei aus dünnem Stahlblech.

1.5.2 Wetterbauwerke

In verzweigten Grubengebäuden war es schon lange erforderlich, die Wetter in der Grube gezielt zu verteilen. Dazu waren Wetterbauwerke notwendig, mit denen der Querschnitt einer zu schwächenden Wetterstrecke eingeengt wurde. Dazu verwendete man Wetterblenden, oder auch Wetterdrosseln genannt. Bei einer stärker erforderlichen Schwächung eines Wetterweges mussten Wettertüren eingebaut werden. Wettertüren sollten einerseits auch unter dem Einfluss von Gebirgsdruck ausreichend dicht sein, andererseits sollten sie leicht zu öffnen beziehungsweise zu schließen sein. Insbesondere in Strecken mit Wagenförderung sollten sich die Wettertüren möglichst selbsttätig öffnen und schließen lassen. Eine technische Neuheit aus dem Jahr 1902 betraf eine selbsttätig durch Wagen von beiden Seiten her zu öffnende Wetterthür (Bild 16).

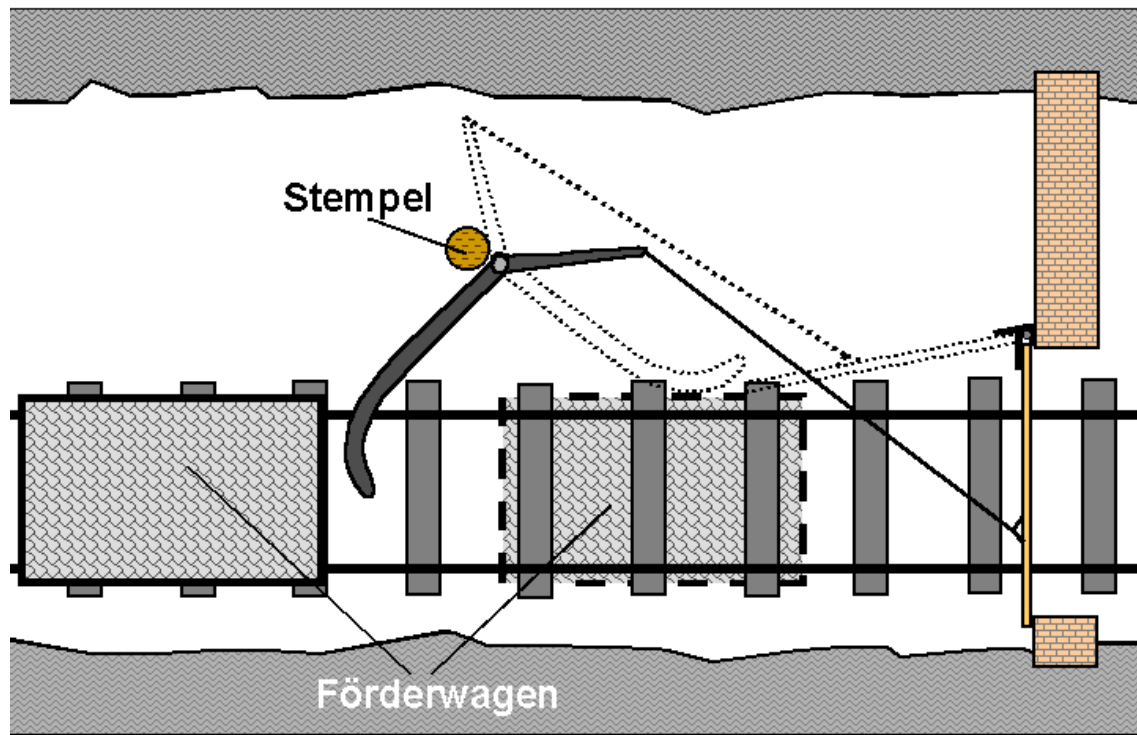


Bild 16: Einrichtung zum selbsttätigen Öffnen einer Wettertür

1.5.3 Überwachung der Bewetterung

1.5.3.1 Wetterlampe

Der Einsatz der Benzinlampe blieb nicht auf den deutschen Steinkohlenbergbau beschränkt. Auf den Bergbau- beziehungsweise Weltausstellungen (Antwerpen 1894, Paris 1900, St. Louis 1904, Brüssel 1905) wurden die Fabrikate der deutschen Hersteller mit goldenen Medaillen geehrt und gelangten auf diese Weise weltweit in alle Bergbau betreibende Länder. Als sich auf der Zeche Radbod bei Hamm 1908 eine Schlagwetterexplosion mit 343 Toten ereignet hatte, wurden dort ein Jahr später auf Anraten des Oberbergamtes Dortmund elektrische Handlampen eingeführt. Grundsätzlich stand jedoch die Bergbehörde dieser Entwicklung zunächst zögernd gegenüber, da mit der elektrischen Lampe die Schlagwetteranzeige durch die Aureole der Flammensicherheitslampe nicht mehr gegeben war. Um das Jahr 1921 wurde durch Anordnung der Bergbehörde schließlich das elektrische Geleucht allgemein eingeführt. Die Überwachung der Wetter auf ihren Methangehalt wurde zugleich ausschließlich auf die Steiger, Schießmeister und Wetterleute übertragen, die seitdem ständig Flammensicherheitslampen mit sich führen mussten, die seit dieser Zeit die Bezeichnung „Wetterlampen“ erhielten. Damit wurde diesem Personenkreis eine besondere Verantwortung übertragen. In einer Verfügung aus dem Jahr 1924 schrieb das Oberbergamt Dortmund vor, dass neben diesem Personenkreis nur die Mitglieder des Betriebsrates zum Zwecke der Wetteruntersuchung Wetterlampen mit sich führen durften. Allen anderen Personen war das Tragen der Wetterlampe auf Gruben mit Gas- oder Kohlenstaubgefahr nicht mehr gestattet.

Bei Vorhandensein methanhaltiger Wetter bildete sich in einer Wetterlampe über der gelblichen Flamme eine schwach blau gefärbte Flammenänderung, die Aureole, deren Höhe ein Maß für den Methangehalt der umgebenden Wetter war. Methangehalte bis 1,5 Vol-% konnte man kaum erkennen. Dies galt insbesondere bei zusätzlicher Anwesenheit von CO₂-

Gehalten über 1 Vol-%. Da die Aureole nur sehr schwach leuchtete, wurde sie von der hell brennenden Flamme überdeckt. Zur Bestimmung des Methangehaltes war es aus diesem Grund erforderlich, die Lampe auf ein kleines Flämmchen zurückzuschrauben (Bild 17). Bei einem Methangehalt von 1 bis 2 Vol-% war die Flammenverlängerung nur sehr gering und kaum erkennbar. Bei 3 Vol-% stand die Aureolenspitze knapp unter dem oberen Glaszylinderrand. Bei 4 Vol-% gelangte die Aureolenspitze bereits in den Bereich der Drahtkörbe hinein und erreichte bei etwa 4,5 Vol-% den Deckel der Drahtkörbe. Bei 5 Vol-% breitete sich die Aureole weiter aus, wobei die Lampe zu verlöschen begann. Die Schlagwetter selbst brannten noch im Korb weiter und verlöschten erst bei mehr als 14 Vol-%.

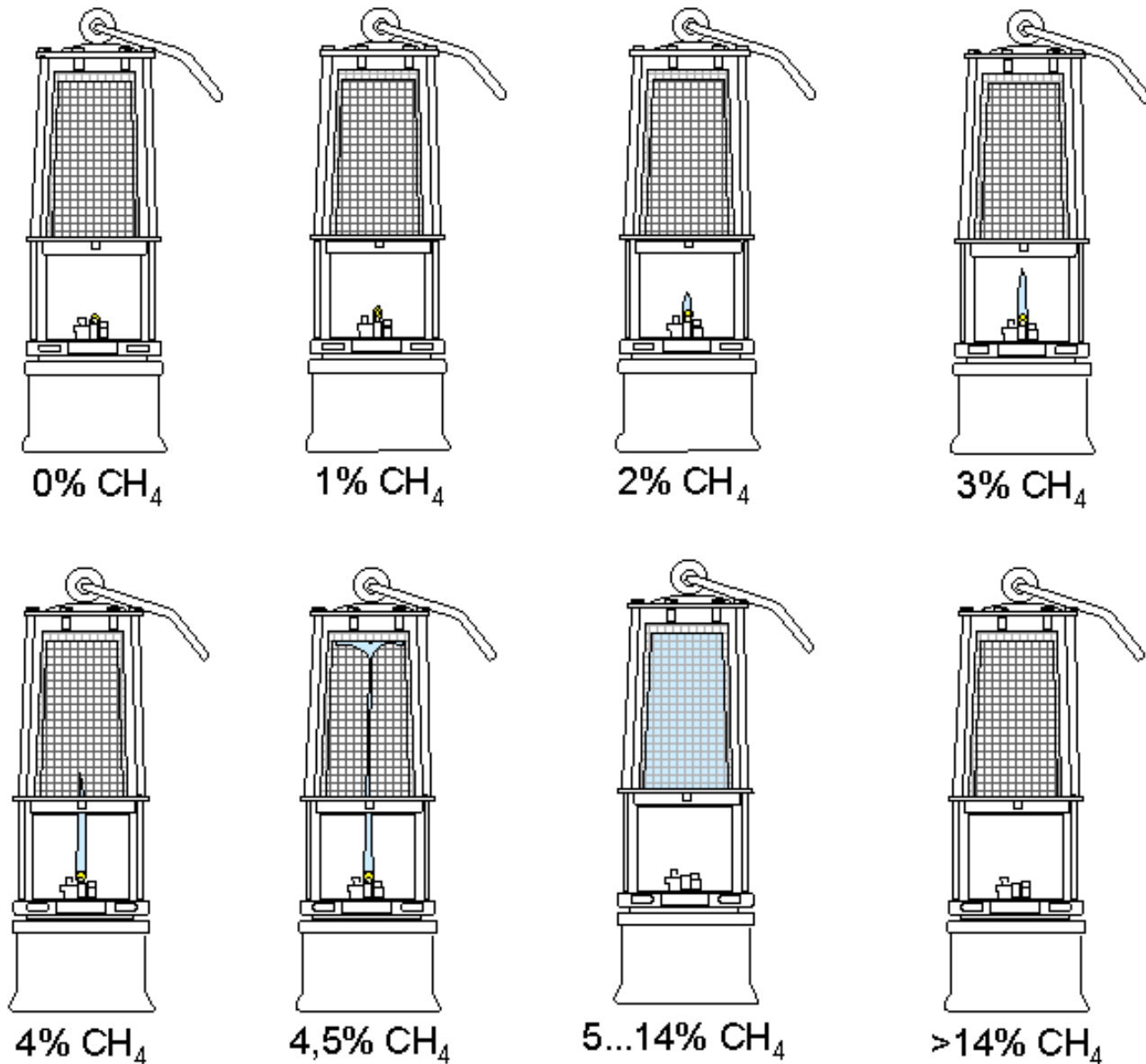


Bild 17: Aureolenbildung in Abhängigkeit vom Methangehalt

Durch den „von Rosenschen Salzstift“ konnte das Anzeigeverhalten auch in geringeren Methangehalten der Wetter (bis zu 0,5 Vol-%) noch weiter verbessert werden. Hierbei handelte es sich um eine Kochsalzperle von der Größe eines Streichholzkopfes, die mit einem dünnen Drahtstift so weit in die Mitte des Dochtes gesteckt wurde, dass die Salzperle bei normaler Flammenlänge im Bereich der kalten Reduktionszone der Flamme lag (Bild 18 links). Dort erfuhr die Salzperle keine Veränderung. Bei der Bestimmung des Methangehaltes, das heißt bei kleingestellter Benzinflamme kam die Salzperle in den Bereich der heißen Oxydationszone der Flamme und begann zu verdampfen. Dadurch stellte sich eine intensivere Gelbfärbung der Flamme sowie eine klare Abzeichnung des Flammenrandes ein (Bild 18 Mitte). Die nunmehr grau gelb gefärbte Aureole war deutlich von

der Flamme zu unterscheiden (Bild 18 rechts). Dies war jedoch wiederum schwierig, sofern die CO₂-Gehalte über 1 Vol-% lagen.

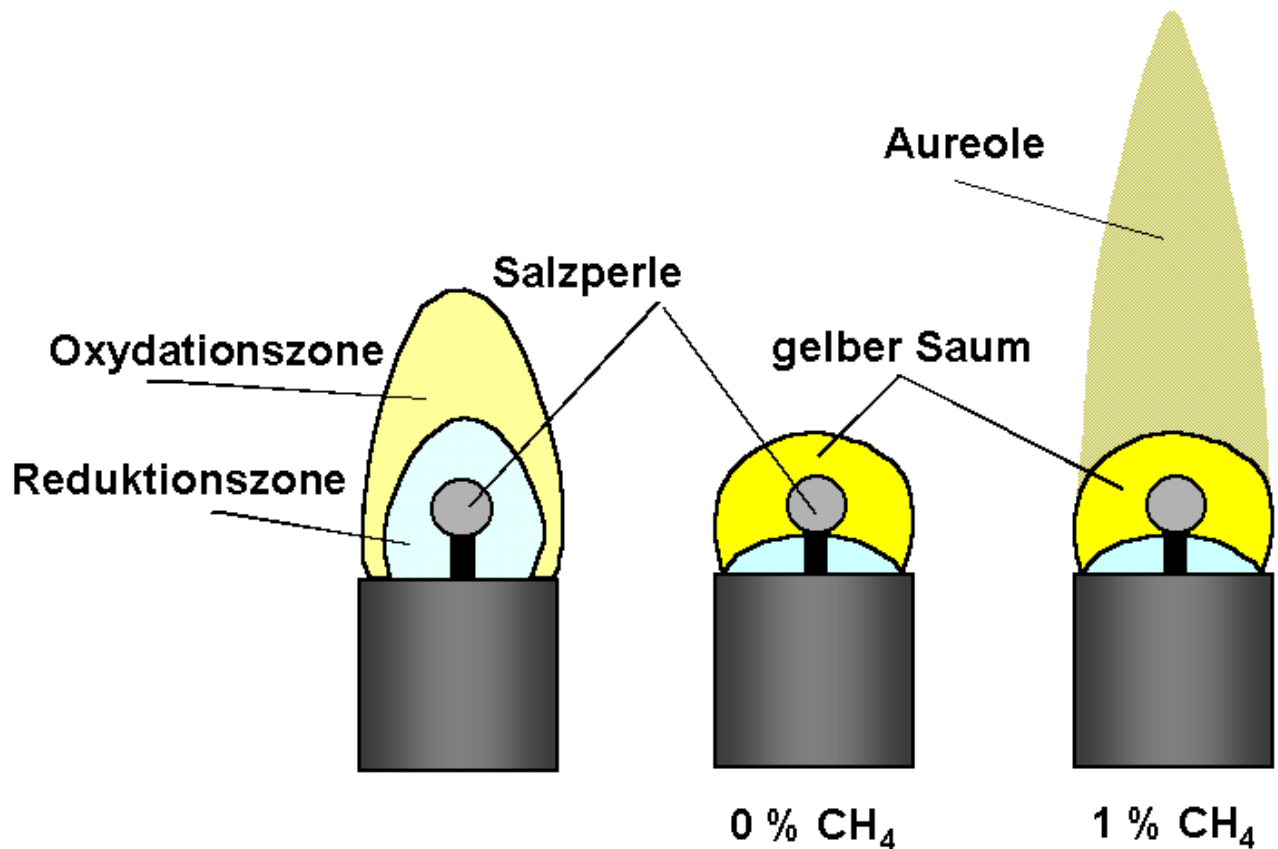


Bild 18: Verwendung einer Salzperle bei der Messung des Methangehalts mit der Wetterlampe

Die Lebensdauer einer Salzperle betrug etwa zwei Schichten. Das Ableuchten mit der Wetterlampe zur Bestimmung des Methangehaltes der Wetter geschah folgendermaßen: Nachdem die Benzinflamme klein gestellt wurde, führte man die Wetterlampe in lotrechter Stellung langsam nach oben. Dabei musste die Flamme gut beobachtet werden. Zeigte sich dabei eine Aureole, dann durfte keine hastige Bewegung durchgeführt werden, sondern man bewegte die Lampe langsam wieder abwärts. Seitens der Bergbehörde war die maximal zulässige Methankonzentration in den Wettern auf 1 Vol-% begrenzt.

Die Wetterlampe war auch dazu geeignet, einen geringen Sauerstoffgehalt der Wetter (matte Wetter) zu erkennen, da hierdurch die Leuchtstärke der Flamme deutlich reduziert wurde. Folgende Aufstellung zeigt diesen Zusammenhang:

O ₂ -Gehalt in Vol-%	Leuchtstärke der Flamme in %
20,93	100
20,30	75
19,90	70
19,30	40
18,90	28

Die Ermittlung der Methangehalte mit Hilfe der Wetterlampe wurde jedoch schon bald als sicherheitlicher Mangel angesehen. Im Messprinzip der Wetterlampe lagen grundsätzliche Unsicherheiten, die durch subjektive Einflüsse ihres Trägers noch verstärkt wurden. Von demjenigen, der eine Wetterlampe bediente, wurde einerseits ein gutes Sehvermögen sowie

die Farbtüchtigkeit der Augen, andererseits ein beträchtliches Maß an Übung verlangt. Fehleinschätzungen über den tatsächlichen wettertechnischen Zustand in einem Grubenbau, die zusätzlich noch durch Trugschlüsse der Aureolenerscheinung erleichtert wurden, konnten bei der Verwendung der Wetterlampe nicht ausgeschlossen werden. Insbesondere das Auftreten von Methanschichten unterhalb der Firste war mit einer Wetterlampe nur zum Teil oder überhaupt nicht zu erfassen. An der Außenseite einer Wetterlampe bewirkte die von der Lampe erzeugte Wärme einen Auftrieb. Die Aureolenerscheinung entwickelte sich in Abhängigkeit vom Methangehalt nur in derjenigen Schicht im Wetterstrom, die sich etwa 0,3 bis 0,4 m unterhalb der Firste befand, was etwa der Höhe der Wetterlampe entsprach; hinzu kam eine meist mehr zufällige Vermischung zwischen den am Korb der Wetterlampe aufsteigenden und den im Verhältnis dazu ruhenden Wettern der Umgebung (Bild 19).

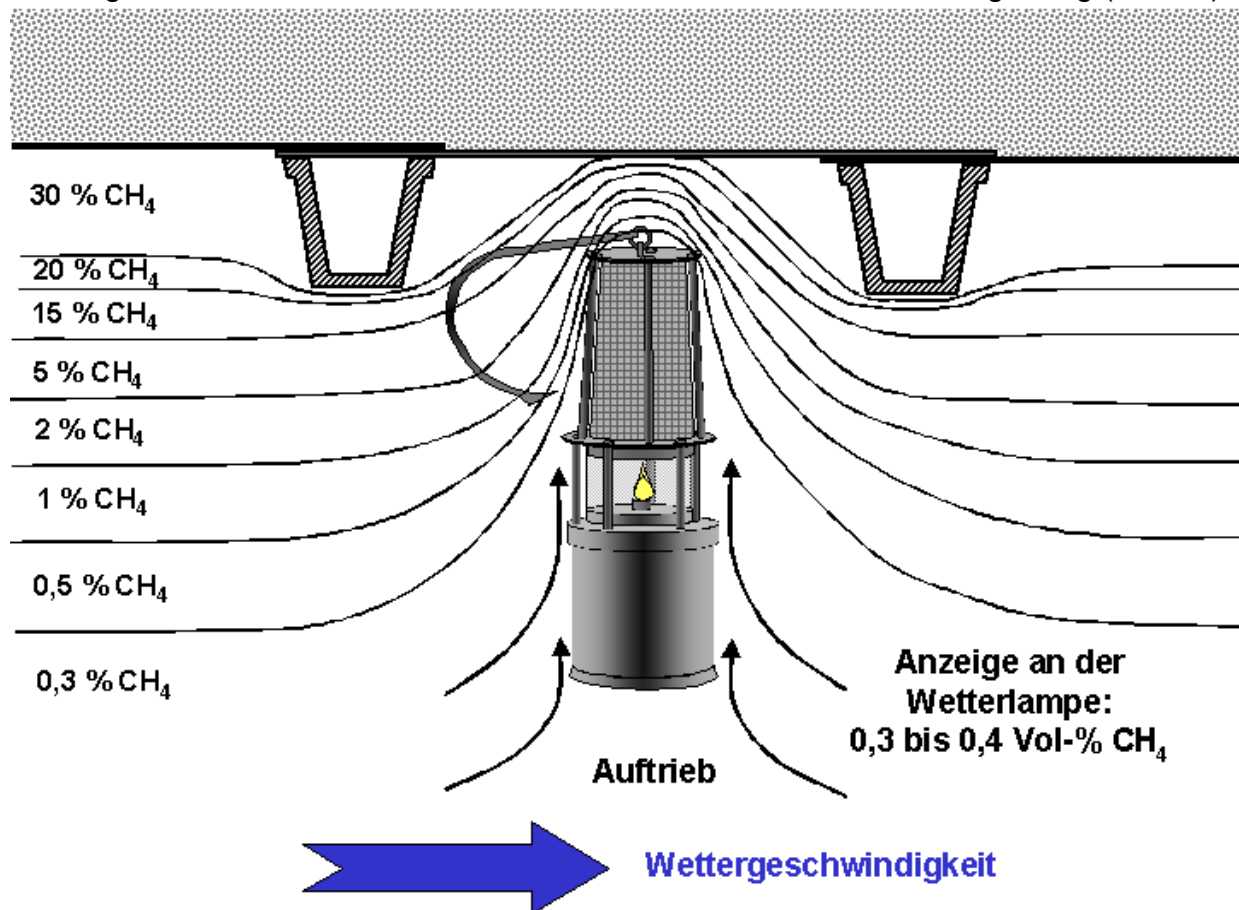


Bild 19: Das Verhalten einer Wetterlampe in einer Methanschicht

1.5.3.2 Überwachung des Wetterstroms mit CH₄-Messgeräten

Das erste elektrisch betriebene Methanometer für den untertägigen Einsatz wurde 1949 von der Mine Safety Appliances Company Ltd. in Glasgow entwickelt. Bekannt wurde es unter der Bezeichnung „Methanprüfer W 8“. Die Messeinrichtung bestand aus zwei Glühfäden, die in einem Stromkreis als Widerstände einer Wheatstone'schen Brücke geschaltet waren (Bild 20). Gespeist wurde dieses Gerät mit einer Kopflampen-Batterie. Auf der einen Seite der Wheatstone'schen Brücke befand sich ein elektrisch beheizbarer Glühfaden. Dieser wurde auf eine solch hohe Temperatur aufgeheizt, so dass jegliches Methan verbrannte, das zur Messung angesaugt und über den Glühfaden geleitet wurde. Den Brennraum umgab eine gasdurchlässige Flammensperre. Durch den Verbrennungsvorgang wurde die Temperatur des Glühfadens noch weiter erhöht, was wiederum den elektrischen Widerstand dieses Glühfadens vergrößerte. Die Widerstandsänderung wirkte sich sodann als Änderung des elektrischen Stroms über der Wheatstone'schen Brücke aus, was schließlich proportional zum Volumen des vorhandenen Methans erfolgte. Auf der anderen Seite der

Wheatstone'schen Brücke befand sich ein identischer Glühfaden, über den ebenfalls die gleiche angesaugte Wetterprobe geleitet wurde. Dieser Glühfaden war jedoch inaktiv, das heißt er wurde nicht erhitzt. Dadurch, dass nunmehr ein aktiver und ein inaktiver Glühfaden derselben Wetterprobe ausgesetzt waren, konnten atmosphärische Einflüsse wie relative Feuchte, Temperatur und Umgebungsdruck weitgehend kompensiert werden.

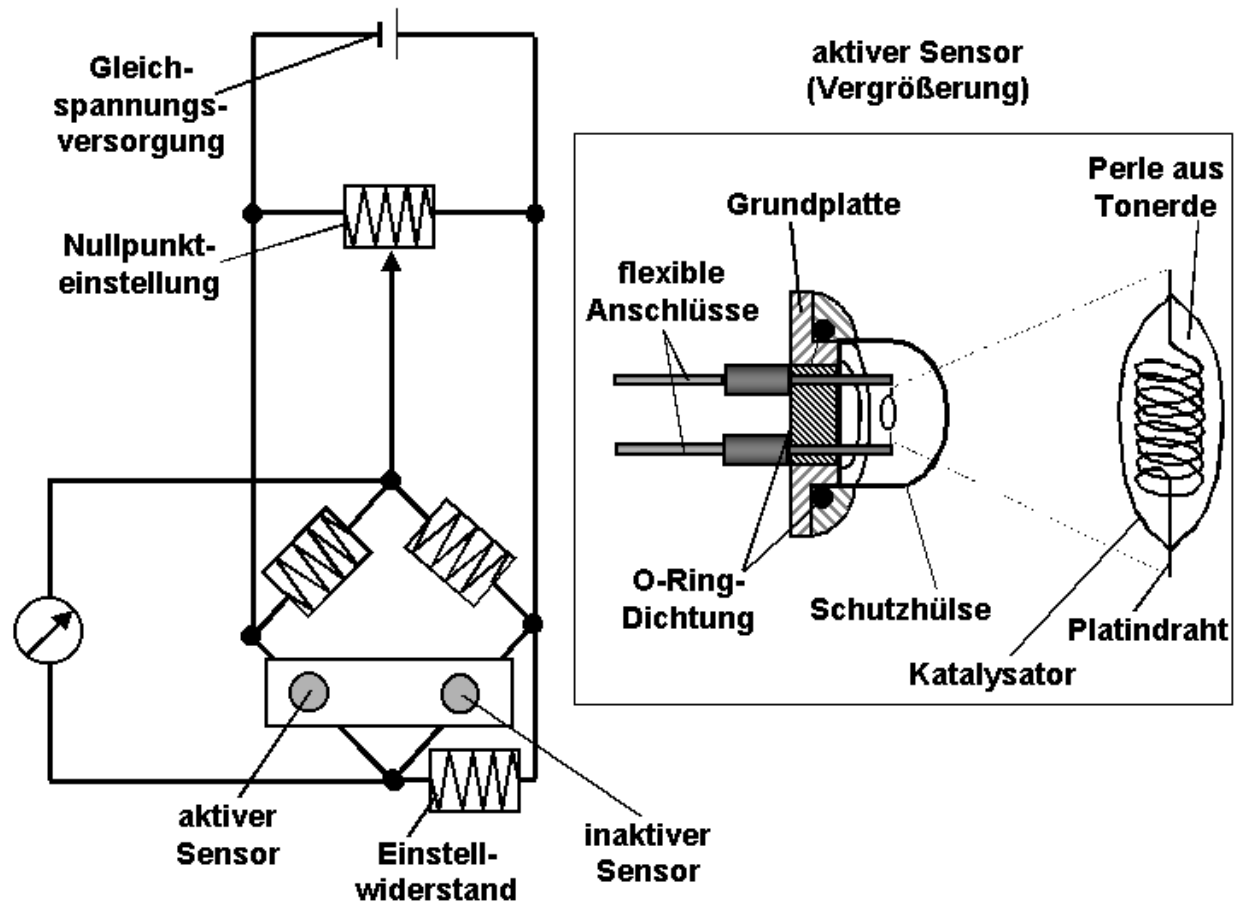


Bild 20: Schematische Darstellung eines Methanometers

Im Bergbau der ehemaligen Sowjetunion hat man im Kusnezker Kohlengebiet etwa zur gleichen Zeit ein optisches Grubengasmessgerät, das Interferometer konstruiert. Das Gerät war für die Bestimmung des Methangehalts der Grubenwetter bestimmt. Unter Zuhilfenahme von Tafeln oder Kurven konnten auch die Konzentrationen anderer Gase damit ermittelt werden. Das Gerät arbeitete nach dem Prinzip des Vergleichs zweier verschiedener optischer Wege, die von zwei Lichtbündeln gleichen Ursprungs durchlaufen wurden. Der Unterschied der optischen Wege beruhte auf der Verschiedenheit der Brechungsindizes der von Licht durchsetzten Gase. Dabei wurde die Abweichung in der Lichtbrechung zwischen der methanhaltigen Gasprobe und einer aus Frischwettern bestehende Vergleichsprobe ermittelt. Da Wasserdampf- oder Kohlendioxid-Anteile die Lichtbrechung beeinflussen würden, mussten diese Anteile zuvor beseitigt werden. Dies geschah dadurch, dass sowohl die angesaugte Gasprobe als auch die Vergleichsprobe durch Natronkalk und Blaugel hindurchgeleitet wurden, wobei H_2O und CO_2 ausgeschieden wurden. Bild 21 zeigt das optische Schema eines Interferometers. Das Licht der Glühbirne wurde durch die Sammellinse geschickt. Dadurch entstand ein Bündel paralleler Strahlen, die auf das Prisma 1 fielen. Von dort aus wurde das Licht auf einen planparallelen Spiegel mit versilberter Unterfläche reflektiert. Der eine Teil der Strahlen wurde an der äußeren Fläche, der andere Teil an der inneren Fläche des Spiegels reflektiert. Beide Strahlenbündel durchliefen die zwei unterschiedlichen Abschnitte der Gaskammer und fielen anschließend auf das Prisma 2. Hier wurden die Strahlen zweimal gebrochen und kehrten zum planparallelen Spiegel zurück. Wie bereits beim ersten Durchgang durch die Gaskammern durchquerten die äußeren Strahlen die äußere Gaskammer und die inneren Strahlen die innere Gaskammer. Die beiden

Gaskammern waren luftdicht voneinander abgeschlossen. Durch eine solche Einrichtung verdoppelte sich der Lichtweg durch die Gaskammern, die mit Frischwettern beziehungsweise mit den zu untersuchenden Grubenwetteren gefüllt waren. Nach Durchgang der Lichtbündel durch die Gaskammern in entgegengesetzter Richtung wurden beide erneut reflektiert; das eine Lichtbündel wurde dieses Mal von der inneren Fläche des Spiegels, das andere Lichtbündel von der äußeren Fläche des

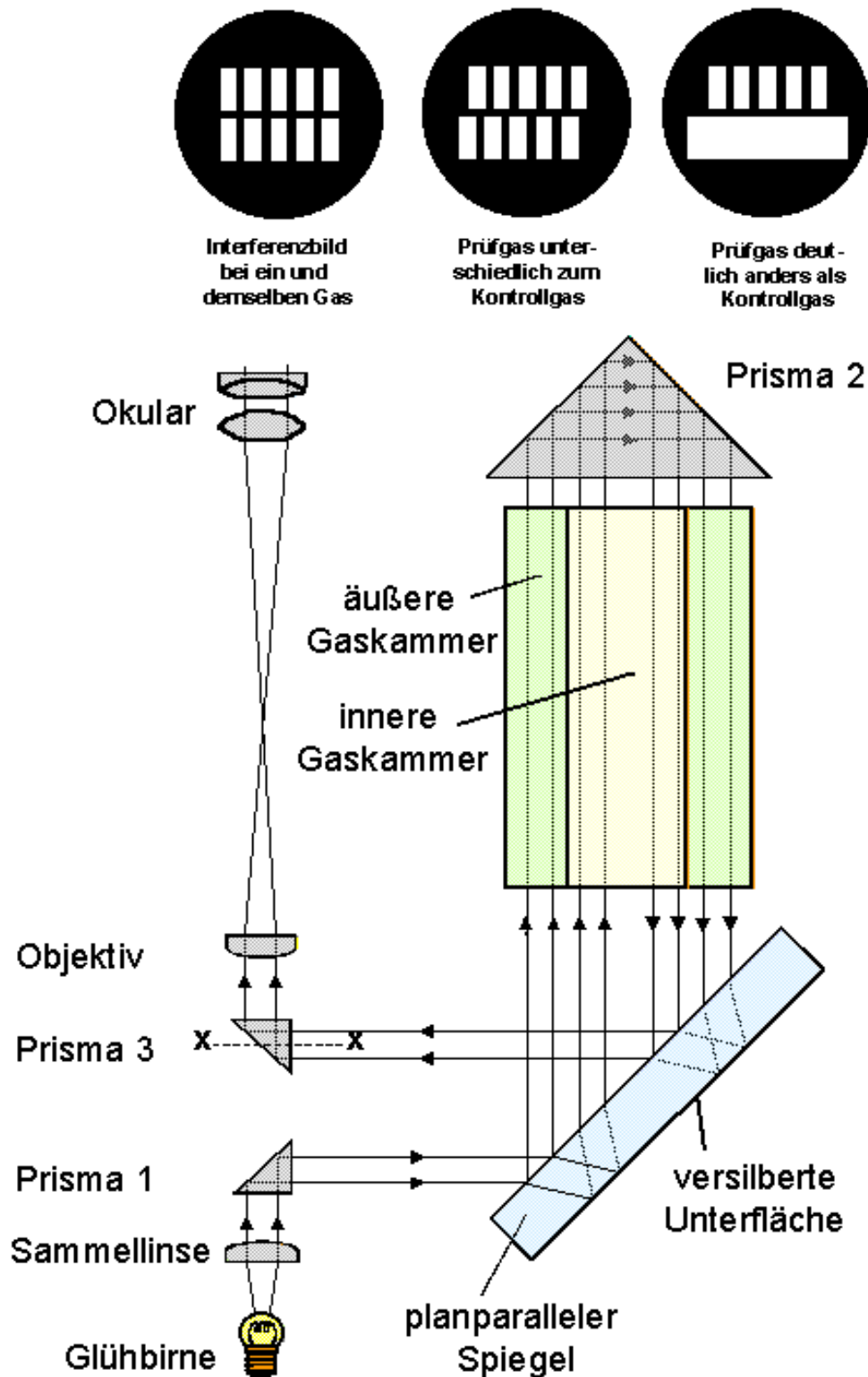


Bild 21: Optisches Schema eines Interferometers

Spiegels reflektiert. Anschließend fielen sie zusammen auf das Prisma 3. Von hier aus gelangten die Lichtbündel nach nochmaliger Reflexion durch das Objektiv des Fernrohres zum Okular. Der Beobachter sah durch das Okular das Bild der Interferenz der Lichtstrahlen, das durch die Differenz des Strahlengangs hervorgerufen wurde. Wenn beide Gaskammern

mit ein und demselben Gas gefüllt waren, beispielsweise mit reiner Luft, so erhielt man übereinanderstehende Bilder ((Bild 21, oben links). Wenn man in die innere Gaskammer das zu prüfende Gasgemisch einschloss und es unterschied sich vom Kontrollgas (Frischwetter) hinsichtlich seiner optischen Eigenschaften, so wurde das entsprechende Lichtbündel hier anders gebrochen. Die Interferenz der Lichtstrahlen veränderte sich und das im Okular sichtbare Interferenzbild wurde deutlich verschoben (Bild 21 oben Mitte). Bei noch stärkerem Unterschied der optischen Eigenschaften trat eine Phasenverschiebung ein, die ein Verschwinden der Interferenzstreifen zur Folge hatte (Bild 21 oben rechts). Um das ursprüngliche Interferenzbild wieder herstellen zu können, musste die entstandene Differenz des Lichtstrahlenganges durch eine Drehung des Prismas 3 um einen bestimmten Winkel längs der Achse $x - x$ ausgeglichen werden. Je größer der Methangehalt war, desto mehr musste das Prisma 3 gedreht werden, damit die Verschiebung des Interferenzbildes ausgeglichen wurde. Die Drehung des Prismas wurde durch eine mit Teilstrichen versehene Schraube ausgeführt. Die Teilung entsprach den Methangehalten, sofern kein weiteres Gas zugegen war. Mit diesem Gerät konnte der Methangehalt mit einer Genauigkeit bis zu 0,1 Vol-% angegeben werden.

1961 wurde zur kontinuierlichen Überwachung der Wetter auf CH_4 , und CO beim Steinkohlenbergbauverein in Essen ein Ultrarot-Absorptionsschreiber („Ultrarot“ ist ein veralteter Ausdruck für „Infrarot“ und steht für den an Rot anschließenden, langwelligen Spektralbereich der elektromagnetischen Wellen mit Wellenlängen von 780 nm bis 1 mm) entwickelt, der unter der Bezeichnung „Unor“ vertrieben wurde. Diese Geräte arbeiteten kontinuierlich und registrierten ihre Messergebnisse auf einem Schreibstreifen. Die Wirkungsweise beruhte darauf, dass infrarote Strahlung teilweise absorbiert wurde, wenn CH_4 , CO_2 oder CO in den Wettern vorhanden war. Zwei elektrische Strahlungsquellen erzeugten je einen Wärmestrom. Der eine gelangte durch eine Vergleichskammer über eine Filterkammer in eine Messkammer. Der andere Wärmestrom gelangte durch eine Analysenkammer über eine Filterkammer in eine zweite gegenüberliegende Messkammer. Die Messkammern waren mit dem Gas gefüllt, das nachgewiesen werden sollte, z. B. CH_4 . Die beiden Messkammern waren durch einen Membrankondensator voneinander getrennt. Um eine störende Erwärmung der Kammerwände zu verhindern, wurden die beiden Strahlengänge periodisch mit einem Blendenrad unterbrochen, das von einem kleinen Synchronmotor angetrieben wurde. Eine Membranpumpe drückte die zu untersuchenden Grubenwetter durch die Analysenkammer. Je nach der Absorptionsfähigkeit dieser zu prüfenden Wetter erwärmte sich das Gas in der zugehörigen Messkammer verschieden stark. Den dadurch hervorgerufenen Druckschwankungen in der Messkammer folgte eine Membranfolie des Kondensators, wodurch dessen elektrische Kapazität verändert wurde. Dadurch entstanden Spannungsänderungen, die verstärkt wurden. Die Anzeige erfolgte an einem Millivoltmeter, das in % des Messgases kalibriert werden konnte.

1.5.4 Grubengasbekämpfung

Noch in der zweiten Hälfte der 30er Jahre war kein erfolgreiches Mittel bekannt, die Flözausgasung im Abbau deutlich zu mildern. Sowohl in England als auch in Deutschland erkannte man jedoch bereits, dass nur im oberen Bereich des Strebens und nahe der oberen Abbaustrecke hochkonzentriertes Methan aus Spalten und Rissen des Hangenden in den Wetterstrom gelangte. Aus diesem Grund unternahm man Versuche, dort, wo das Gas vermehrt auftrat, Wetterröschen auszusparen und darin Luttenstränge zu verlegen, die wiederum in eine gemeinsame saugend betriebene Streckenlutte mündeten (Bild 22). Damit konnte im Abwetterstrom der Methangehalt deutlich herabgesetzt werden. Nachteile dieses Systems waren zum einen die weiterhin hohen Methangehalte im Bereich der Wetterröschen, zum anderen die verfahrensbedingte Notwendigkeit, das möglicherweise explosionsfähige Methan-Luft-Gemisch durch ein rotierendes Ventilatorlaufrad führen zu müssen, was unter Umständen eine Zündquelle hätte darstellen können.

Die gebräuchlichste Methode blieb jedoch, das freiwerdende Methan durch ausreichend große Frischwetterströme unschädlich zu machen und somit gefahrlos abzuführen. Dabei kam man auch zu der Erkenntnis, dass die hierfür notwendige Frischwetterversorgung nicht ausschließlich durch den Streb zugeführt werden müsse. Im niederländischen Bergbau praktizierte man daher erfolgreich einen neuen wettertechnischen Zuschnitt, indem man den belasteten Wetterstrom am Strebausgang durch einen zweiten unbelasteten Frischwetterstrom verdünnte. Die heute für diesen Zuschnitt gebräuchliche Bezeichnung „Y-Bewetterung“ verwendete man damals jedoch noch nicht.

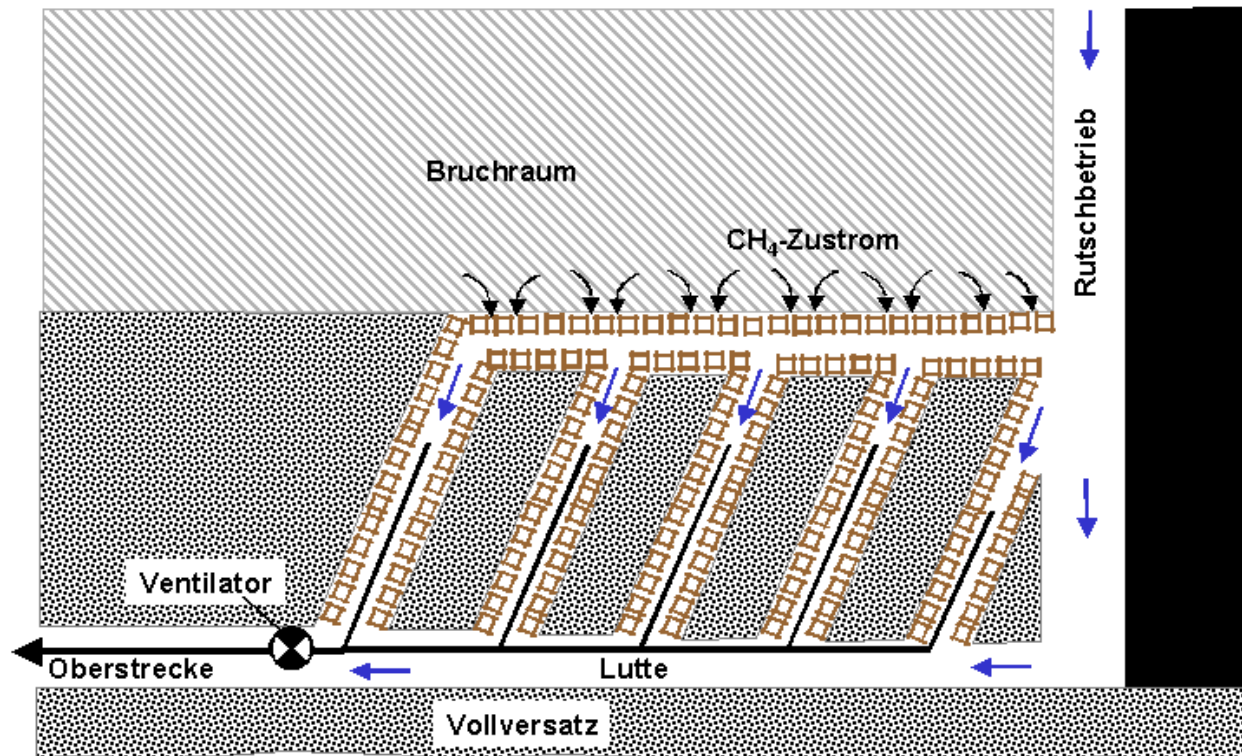


Bild 22: Gasabsaugung aus Wetterröschen

Der Bergbau-Verein in Essen (eigentlich „Verein für die bergbaulichen Interessen“, dessen Aufgaben insbesondere technisch-wissenschaftliche Aktivitäten waren; 1858 gegründet; 1952 Überführung des „Bergbau-Vereins“ in den „Steinkohlenbergbauverein“; 1990 durch Gründung der Deutschen Montan Technologie als eigenständiger Verband aufgelöst) veranlasste 1936, die Schlagwetterforschung zu intensivieren, da die Bedingungen der Ausgasung noch nicht hinreichend bekannt waren. Forstmann und Schulz [7] [8] widmeten sich daher intensiver den Bohrlochbeobachtungen. Die daraus entstandenen „Regeln über den Gasaustritt aus der Kohle“ waren für den weiteren Fortschritt auf dem Gebiet der Ausgasungsbeherrschung von außerordentlichem Wert:

- Ø Die Gasaufnahmefähigkeit der Kohle ändert sich mit dem Druck. Je höher der Gasdruck ist, umso mehr Gas kann die Kohle binden.
- Ø Zwischen dem Gebirgsdruck und dem Gasdruck besteht ein Gleichgewichtszustand. Tritt eine Druckentlastung auf den Kohlenstoß ein, dann wird Gas in der Kohle frei und drängt heraus.
- Ø Beim Abbau eines Flözes wird in Nachbarflözen Gas frei. Es muss möglich sein, dieses Gas abzupapfen und abzuleiten, bevor es durch die beim Abbau im Gebirge entstehenden Risse in den Streb und in dessen Begleitstrecken eindringen kann.

1943 bot sich im Grubenbetrieb der Zeche Mansfeld in Bochum-Langendreer die Gelegenheit, die „Regeln über den Gasaustritt aus der Kohle“ in der Praxis zu erproben. Aus einem Vorbohrloch (280 mm Ø) für das Erstellen eines Blindschachtes strömte nach dem Anlaufen zweier Strebbetriebe plötzlich Gas aus mit einem Volumenstrom von 10 m³/min und einer Konzentration von 90 Vol-% CH₄. Außerdem wurden aus einer Kopfstrecke in Flöz Röttgersbank 1 planmäßig Bohrlöcher (40, 80 und 280 mm Ø) hergestellt und diese an eine zu Tage führende Gassammelleitung angeschlossen. Auf diese Weise wurden in einem Jahr etwa 3 Mill. m³ CH₄ gewonnen. Das Jahr 1943 stellt somit den Beginn der systematischen Gasabsaugung dar und die Zeche Mansfeld war das erste Bergwerk, auf dem diese Technik erstmalig durchgeführt wurde. Bei der Erforschung der Gasabsaugetechnik stellte man unter anderem fest, dass Liegendflöze bei gleichem Gasinhalt weniger Gas freisetzen als Hangendflöze und dass die Gasaufnahme eines Bohrlochs unabhängig vom Bohrl Lochdurchmesser war. Im Abbaubetrieb selbst hatte die planmäßige Grubengasabsaugung eine grundlegende Verbesserung der Bewetterungsverhältnisse zur Folge, was als gravierender sicherheitlicher Erfolg zu werten war.

Der Erfolg mit der Grubengasabsaugung auf der Zeche Mansfeld fand im In- und Ausland außerordentliche Beachtung, obgleich Kriegs- und Nachkriegszeit die Verbreitung dieses Verfahrens zunächst verzögerten. Bereits 1949 wurde die Grubengasabsaugung in Belgien angewendet und schon bald darauf in England.

1.5.5 Sonderbewetterung

In der Sonderbewetterung waren anfänglich Radialventilatoren gebräuchlich. Von der Belüftung von Sälen und Fabrikgebäuden her kannte man mittlerweile Ventilatoren axialer Bauart, die man damals „Schraubenventilatoren“ nannte. Man erkannte bald, dass Axialventilatoren gegenüber den auf der Sohle stehenden Radialventilatoren deutliche Vorteile aufwiesen, indem sie zum einen leichter waren und deshalb an die Kappen aufgehängt werden konnten und dass sie andererseits mit einem an die Lutten angepasstem Durchmesser unmittelbar in die Luttenleitung eingebaut werden konnten. Es folgte eine rege Entwicklung verschiedener Bauarten von Axialventilatoren. Als Antriebe dienten mit Druckluft betriebene, in der Nabe befindliche Drehkolbenmotoren oder am Laufradumfang angebaute Druckluftturbinen. In den 20er Jahren hat sich im Laufe der Zeit der Axialventilator in der Sonderbewetterung durchgesetzt. Man stellte fest, dass die Leckverluste in einer Luttenleitung umso größer wurden, je höher der vom Ventilator erzeugte statische Druck in der Luttenleitung war. Daher kam man 1926 auf die Idee, in einer langen Luttenleitung nicht einen einzelnen großen Ventilator mit starker Druckerzeugung zu installieren, sondern mehrere kleine Ventilatoren mit jeweils geringerer Druckerzeugung in Abständen hintereinander einzubauen. Axialventilatoren mit Druckluftantrieben wurden sehr lange bevorzugt, weil man damit gegenüber dem Elektroantrieb weniger durch bergbehördliche Auflagen eingeschränkt war. Gleichwohl war der Druckluftantrieb dem Elektroantrieb in zweierlei Hinsicht wirtschaftlich unterlegen: zum einen war nicht nur die Druckluft als Energiequelle wesentlich kostenintensiver als die Elektroenergie, sondern auch die Ventilatorwirkungsgrade waren beim druckluftbetriebenen Ventilator wesentlich geringer als beim elektrisch betriebenen Ventilator. Dies führte allmählich zum Übergang auf Elektro-Luttenventilatoren.

Mitte des 20. Jahrhunderts setzten sich bedingt durch die Stahlknappheit nach dem zweiten Weltkrieg einerseits sowie durch die Fortschritte auf dem Gebiet der Kunststoffe andererseits flexible Lutten aus PVC-Folie durch. Eine wesentliche Verbesserung ergab sich, als später anstelle der PVC-Folien nunmehr mit PVC beschichtete Wandungsgewebe aus synthetischen Fäden eingeführt wurden, die hinsichtlich ihrer Zugfestigkeiten, ihrer Weiterreißfestigkeiten sowie ihrer Abriebfestigkeiten den Lutten aus PVC-Folie deutlich überlegen waren.

1.5.6 Hauptgrubenventilatoren

Hauptgrubenventilatoren mit Drehstrom-Asynchronmotoren setzten sich allmählich durch, obwohl – im Gegensatz zu Dampfmaschinen – deren Drehzahlen praktisch konstant waren und eine Drehzahlregelung somit nicht möglich war. Aber auch bei den noch üblichen Radialventilatoren gab es bei sich verändernden Grubenweiten Schwierigkeiten in Form von unangenehmen Schwingungen und lästigen Geräuschen, die sich nur durch aufwändige Veränderungen an den Schaufelenden im Stillstand beheben ließen. Genau genommen hatte man somit eine Paarung zweier Maschinen, die sich praktisch nicht regeln ließen. Vereinzelt Erprobungen mit Axialventilatoren brachten keinen nennenswerten Durchbruch, weil aufgrund unzulänglicher Materialfestigkeiten ihre Laufraddurchmesser sowie ihre Drehzahlen begrenzt bleiben mussten. Dadurch konnten lediglich geringe Drücke und Volumenströme erzeugt werden, so dass diesbezüglich die Axialventilatoren den Radialventilatoren als

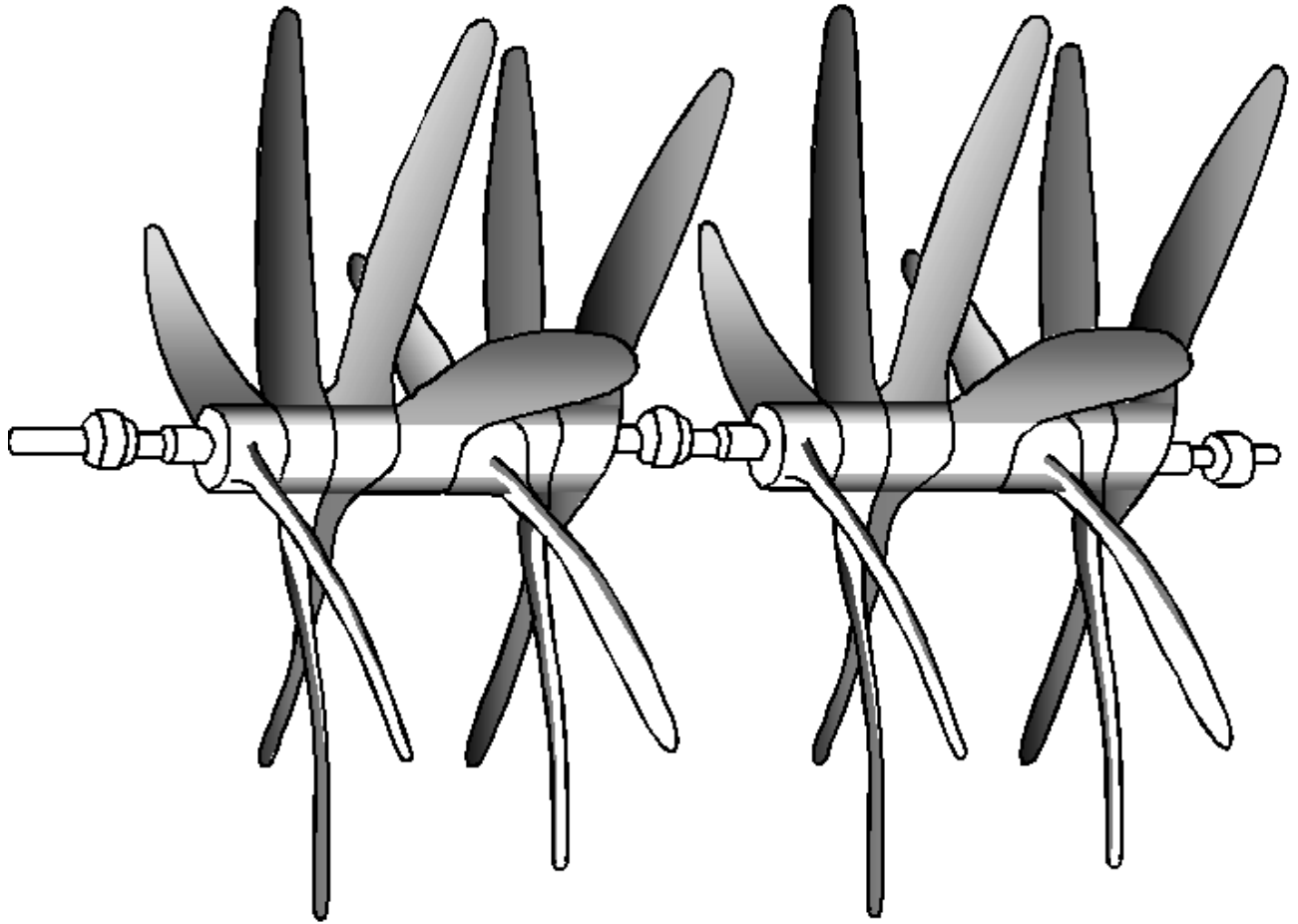


Bild 23: Steart-Rotor aus Flugzeugpropellern

Hauptgrubenventilatoren deutlich unterlegen waren. In Südafrika entwickelte in den 20er Jahren der Ingenieur Steart einen Axialventilator, der aus mehrere hölzerne Flugzeugpropellern bestand, die auf einer horizontalen Welle montiert waren (Bild 23). Dieser Rotor lief in einem zylindrischen Blechkanal, der sich zwischen dem Wetterkanal und dem Diffusor befand. Der erste Steart-Ventilator lief Mitte der 20er Jahre auf der Northfield-Grube in der Provinz Natal in der damaligen Südafrikanischen Union. Ab 1928 lief auch ein Steart-Ventilator auf der Grange-Grube in England. Dort hatte er einen Durchmesser von 3,05 m und war er mit 14 doppelflügeligen hölzernen Propellern versehen. Bei 720 Umdrehungen pro Minute lieferte dieser Ventilator bereits einen Volumenstrom von $6500 \text{ m}^3/\text{min}$. Gegenüber einem vergleichbaren Radialventilator war dieser Ventilator etwa zu den halben Anschaffungskosten zu erwerben. Durch Anzahl der installierten Propeller sowie durch Änderung ihrer Verdrehungshöhe konnte man den Ventilator an eine veränderte Grubenweite anpassen. Außerdem war es möglich, durch Änderung der Drehrichtung des Laufrades den Ventilator zum blasenden Betrieb umzufunktionieren. Man sah jedoch bald

ein – weil der Steart-Ventilator mit einem ungünstigen Wirkungsgrad behaftet war – dass es günstiger sei, die in der Sonderbewetterung bereits gängigen Axialventilatoren für große Durchmesser weiterzuentwickeln. Dort hatte man bereits – ebenfalls in Anlehnung an den Flugzeugbau – die Ventilatorflügel entsprechend den Tragflächenprofilen durchkonstruiert. Hierbei befanden sich jedoch alle Ventilatorflügel in einer Ebene. Es war somit lediglich ein Flügelrad vorhanden, bei dem man besonderen Wert darauf legte, dass im Ringraum hinter dem Ventilator-Laufrad möglichst gleicher Druck herrschte. Wahrscheinlich durch die Zeit während und nach dem zweiten Weltkrieg verursacht, blieben Axialventilatoren als Hauptgrubenventilatoren in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts noch die Ausnahme, obwohl man deren Vorzüge gegenüber den Radialventilatoren bereits lange erkannt hatte. Nachdem man um die Mitte des 20. Jahrhunderts zur Anpassung an sich verändernde Grubenweiten Axialventilatoren mit verstellbaren Laufschaufeln bauen konnte, war damit der Durchbruch der Axialventilatoren gekommen. Seit 1955 baute man einstufige Axialventilatoren sogar mit ölhdraulisch verstellbaren Laufradflügeln; damit musste der Ventilator zum Verstellen seiner Laufräder nicht mehr stillgesetzt werden.

1.5.7 Grubenklimatisierung

Der § 93 c der Novelle des Allgemeinen Berggesetzes von 1905 bestätigte die bereits seit einigen Jahren bestehende Bestimmung, dass für Arbeiter, welche an Betriebspunkten, an denen die gewöhnliche Temperatur mehr als $+28^{\circ}\text{C}$ beträgt, nicht bloß vorübergehend beschäftigt werden, die Arbeitszeit sechs Stunden nicht übersteigen darf. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren die physikalischen Zusammenhänge, die das Grubenklima beeinflussten, weder bekannt, noch untersucht worden. Die Arbeitszeitbeschränkung bedeutete zweifellos einen erheblichen Kostenfaktor für die Betriebe des Steinkohlenbergbaus, so dass die ersten theoretischen Überlegungen zu diesem Thema längst überfällig waren. 1905 entdeckte hierzu Heise (*Prof. Dr.-Ing. E.h. F. Heise, Geschäftsführer der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Bochum sowie Direktor der Bochumer Bergschule*), dass die relative Feuchte der Wetter das Grubenklima wesentlich beeinflusste. Als wirksamste Maßnahmen zur Verbesserung des Grubenklimas hatte Herbst (*Prof. Dr.-Ing. E.h. Fr. Herbst verfasste zusammen mit F. Heise das „Lehrbuch der Bergbaukunde“, welches zu seiner Zeit zu den Standardwerken bergbaulicher Fachliteratur gehörte*) 1920 an erster Stelle die Vergrößerung der Wettervolumenströme und an zweiter Stelle die größtmögliche Kälte und Trockenheit der Wetter erkannt. Zudem wurde bereits ein Klimasummenmaß entwickelt, das man „Nasswärmegrad“ nannte. Dieser wurde durch die Temperatur und die Feuchtigkeit der Wetter bestimmt. Obwohl man die Bedeutung der Wettergeschwindigkeit für das Grubenklima bereits erkannt hatte, ging diese Größe jedoch noch nicht in den „Nasswärmegrad“ mit ein.

Auf der Golderzgrube Morro Velho im brasilianischen Bundesstaat Minas Geraes wurde Anfang der 20er Jahre – vermutlich zum ersten Mal überhaupt – eine maschinell erzeugte Kühlung des gesamten Einziehweatherstroms vorgenommen. Die Einziehweather wurden über Tage mit Hilfe einer mit Ammoniak betriebenen Kälteanlage gekühlt und der Grube anschließend über einen gesonderten Stollen geschlossen zugeführt. Bei dieser eigentlich trockenen Grube ging es weniger darum, die Wettertemperatur in ihrem Tiefsten zu senken, als vielmehr die Feuchtigkeit der angesaugten Frischweather zu vermindern. Das Ziel wurde auf diese Weise erreicht. Die Folge davon waren eine deutliche Reduzierung der Anzahl tödlicher Unfälle sowie eine erkennbare Leistungssteigerung der Belegschaft.

In der ersten Hälfte der 20er Jahre erkannte man darüber hinaus den Einfluss des „Wärmeausgleichsmantels“. Darunter verstand man einen Bereich im Gebirge um einen Grubenbau herum, der durch die Einwirkung eines durch den Grubenbau ziehenden Wetterstroms ausgekühlt wurde. Der Auskühleffekt entstand insbesondere im Winter, wohingegen dann im Sommer vom „Wärmeausgleichsmantel“ eine nennenswerte Kühlwirkung auf den Wetterstrom ausging.

Zu Beginn der 20er Jahre ging auf der Zeche Radbod bei Hamm der Abbau bereits in einer Teufe von 800 bis 1000 m um bei Gebirgstemperaturen bis zu 44°C. Der Anteil der Kurzschichten lag bereits bei 60 %. Daher wurden umfangreiche Maßnahmen zur Verringerung der Wettertemperaturen getroffen. An erster Stelle ist hierzu die Verdoppelung des Wettervolumenstroms von 10 000 m³/min auf 20 000 m³/min, sowie das Abteufen eines zusätzlichen Wetterschachtes zu nennen. Im Sommer wurde der gesamte Einziehwetterstrom in Kühlräumen über Tage durch Versprühung eines Wassernebels gekühlt. Schließlich begann man – zuerst auf der Zeche Radbod, anschließend auch auf der Zeche Westfalen – Wetterlütten mit Sägespänen zu isolieren (Bild 24 links), was zu einem bemerkenswert guten Ergebnis führte. Aufgrund dieses Erfolges isolierte man auf der Zeche Radbod sogar eine Richtstrecke über eine Streckenlänge von 240 m (Bild 24 rechts).

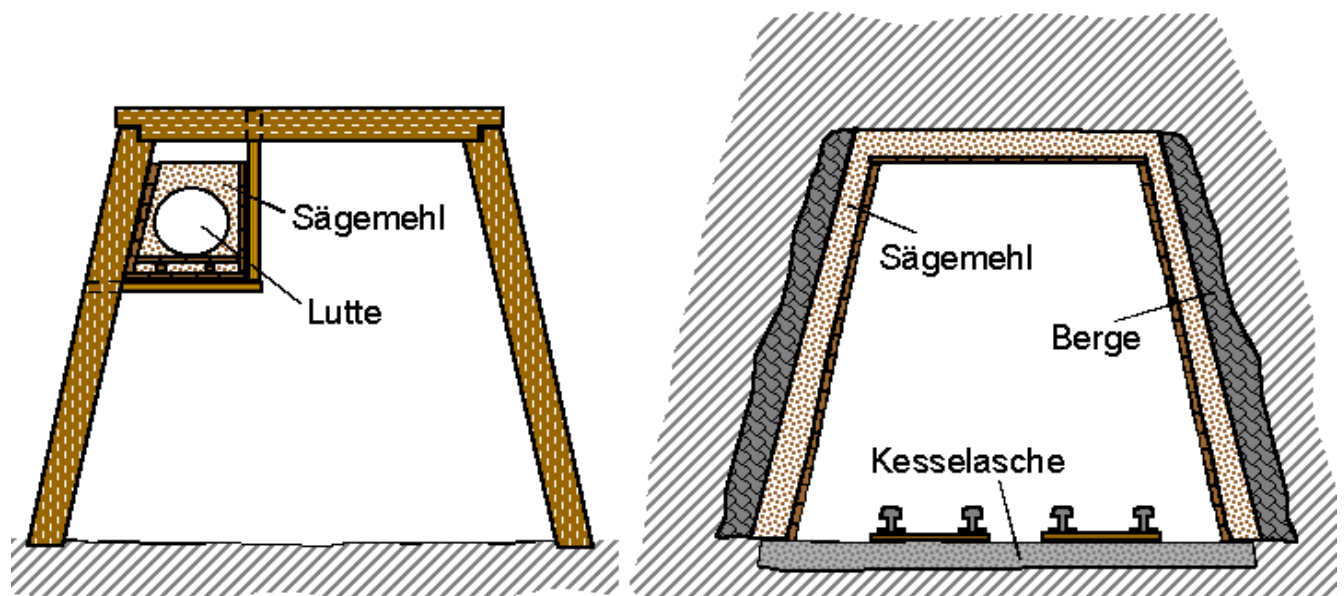


Bild 24: Isolierung einer Wetterlutte sowie einer Richtstrecke mit Sägemehl

Der zusätzliche Einbau des ersten Oberflächenkühlers unter Tage auf der Zeche Radbod blieb zunächst ohne den erhofften Erfolg, da die Temperatur des verwendeten Wassers der Lippe für die Oberflächenkühlung nicht gering genug war. Von einer Brauerei erwarb man eine Ammoniak-Kälteanlage und stellte sie über Tage auf. Dies war die erste Kältemaschine im deutschen Bergbau. Über eine isolierte Rohrleitung von 80 mm Durchmesser führte man gekühltes Wasser zum Hauptquerschlag auf der 4. Sohle in fast 1000 m Teufe. Das Wasser der Lippe wurde dabei auf etwa 1 °C gekühlt und auf dem Weg zur 4. Sohle erwärmte es sich

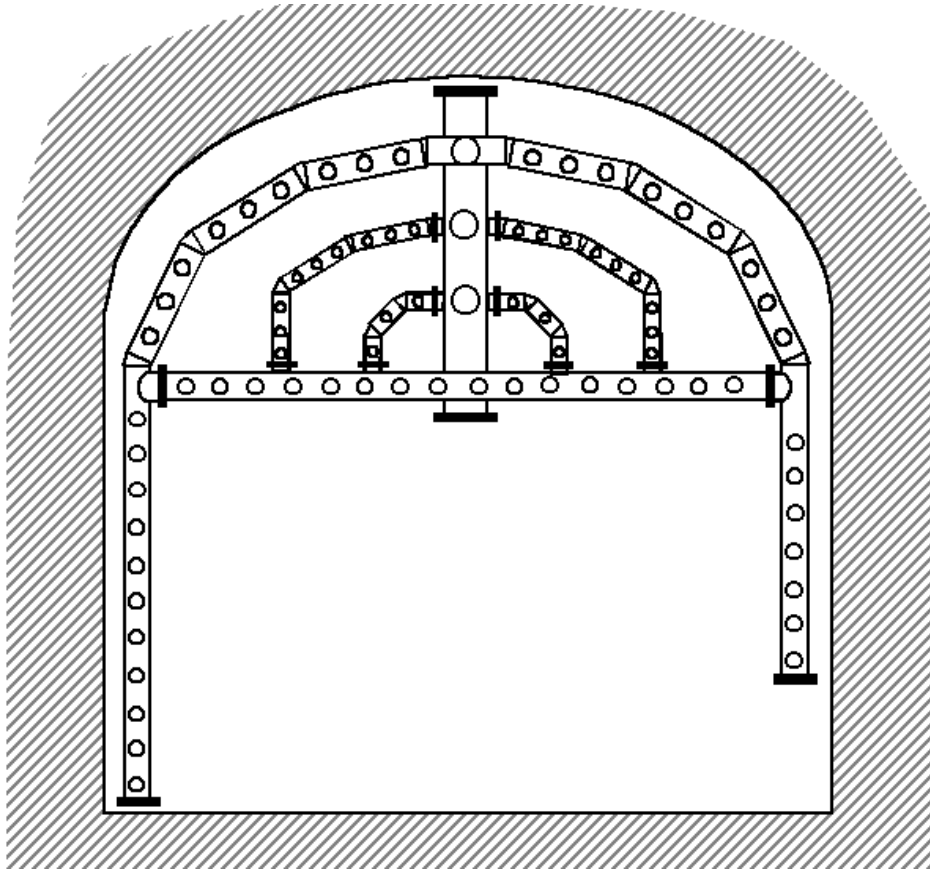


Bild 25: Rohrkühler auf der Zeche Radbod

auf 4 bis 5°C. Im Hauptquerschlag auf der 4. Sohle war über eine Erstreckung von 100 m Länge ein Rohrkühler aufgebaut. Er bestand aus Gruppen von 2-, 3- und 5zölligen Längsrohren mit einer Gesamtoberfläche von 1800 m² (Bild 25). Der dort vorbeiziehende Wetterstrom von 7200 m³/min wurde von 22 bis 23 °C auf immerhin 19 bis 20 °C herabgekühlt. Bereits 1925 wurde die Kälteanlage auf Radbod allerdings wieder stillgelegt.

1936/37 entwickelte Yaglou (*Constantin P. Yaglou, amerikanischer Wissenschaftler, arbeitete in den 20er und 30er Jahren des 20. Jahrhunderts in den USA an der Harvard School of Public Health*) mit Hilfe einer Vielzahl von Testpersonen das als „Effektivtemperatur“ bekannt gewordene amerikanische Klimasummenmaß, bei dem außer der Wettertemperatur und ihrer relativen Feuchte auch die Wettergeschwindigkeit Berücksichtigung fand. Bereits 1940 wies Fritzsche (*Professor Dr. phil. Dr.-Ing. Dr. mont. h. c. Carl Hellmut Fritzsche, ordentlicher Professor der Bergbaukunde an der Rheinisch-Westfälischen technischen Hochschule Aachen*) auf das amerikanische Klimasummenmaß hin mit der damit verbundenen Möglichkeit, die Temperaturgrenze von 28 °C durch eine entsprechende Zustandsgrenze zu ersetzen. Diese Zustandsgrenze konnte man zudem in einem Enthalpie-Feuchtigkeits-Diagramm darstellen. Fritzsche sah außerdem in der Klimatisierung durch Wetterkühlung das allerletzte Mittel, nachdem alle anderen Maßnahmen ausgeschöpft worden sind und die gesamte Wetterführung der Grube bereits ein Optimum erreicht hat. Dadurch, dass seit 1925 im deutschen Bergbau jegliche Art von Kühlanlagen fehlten, sah Fritzsche keineswegs als Rückständigkeit an, sondern vielmehr als Beweis für den ausgezeichneten Zuschnitt der Untertagebetriebe, die den allein richtigen Weg gegangen seien, zuerst die Wetterführung zur Beseitigung der Klimaschwierigkeiten zu nutzen. Er kam aber auch zu dem Ergebnis, dass all diese Maßnahmen nicht darüber hinwegtäuschen dürften, dass einmal die „kritische Teufe“ erreicht sein werde, ab der Klimatisierung durch Wetterkühlung unumgänglich sein werde.

In Belgien hatte im Jahr 1949 auf der Steinkohlengrube Les Liégeois bei Zwartburg der Abbau eine Teufe von 1010 m erreicht, wobei an den wetterausziehseitigen Strebenden die Wettertemperaturen bereits bis zu 36 °C erreichten. Der belgische Steinkohlenbergbau

kannte keine verkürzte Arbeitszeit, wohl aber die Stundung des Betriebes durch die Bergbehörde, wenn die belgische Effektivtemperatur einen Wert von 31 ° überstieg. Die belgische Effektivtemperatur berücksichtigte allerdings nur die Wettertemperatur sowie die relative Feuchte, nicht jedoch die Wettergeschwindigkeit. Daher wurde dort unternommen in einem Maschinenraum eine Kälteanlage mit einer Kälteleistung von rd. 400 kW errichtet. In der Abbaubegleitstrecke vor dem frischwetterseitigen Strebeingang befand sich ein Rippenrohrkühler, mit dem sich die Wetter am Strebeingang um 10 °C und am Strebeausgang immerhin noch um 3 °C abkühlen ließen. Dadurch konnten die Hauerleistung sowie die Strebleistung um rd. 20 % verbessert werden, die bisher gezahlte Hitzezulage konnte entfallen. Daher schafften sich weitere Gruben entsprechende Kälteanlage an. Im westdeutschen Steinkohlenbergbau begann die Klimatisierung durch Wetterkühlung zunächst in Streckenvortrieben, weil sich dort aufgrund der relativ geringen Wettervolumenströme die ungünstigsten klimatischen Verhältnisse einstellten. Die erste Streckenkühlanlage (Bild 26) wurde 1951 auf der Zeche Neumühl in Duisburg in Betrieb genommen, eine zweite Anlage folgte auf der Zeche Hansa in Dortmund. 1953 besaßen bereits ein rundes Dutzend Steinkohlenbergwerke Streckenkühlanlagen. Als Kältemittel der Anlagen auf Neumühl diente erstmals Frigen 12, das gegenüber dem bisher verwendeten Kältemittel Ammoniak den ausschlaggebenden Vorteil aufwies, dass es ungiftig, unbrennbar und ohne Reizwirkungen auf den Menschen war und damit das Aufstellen der Kältemaschine unmittelbar vor Ort ermöglichte. Die Kälteleistung einer solchen Streckenkühlanlage betrug etwa 35 kW.

1953 wurde auf der Zeche Lohberg in Dinslaken – nicht zuletzt wegen der guten Erfahrungen auf der belgischen Steinkohlengrube Les Liégeois – der Schritt von der ortsbeweglichen Streckenkühlanlage zur ortsfesten Kälteanlage für den Abbaubetrieb mit einer Kälteleistung von etwa 760 kW unternommen. Nach mehrjährigem Einsatz dieser ersten Großkälteanlage im Ruhrgebiet war man sowohl mit ihrem technischen, als auch mit ihrem wirtschaftlichen Ergebnis zufrieden.

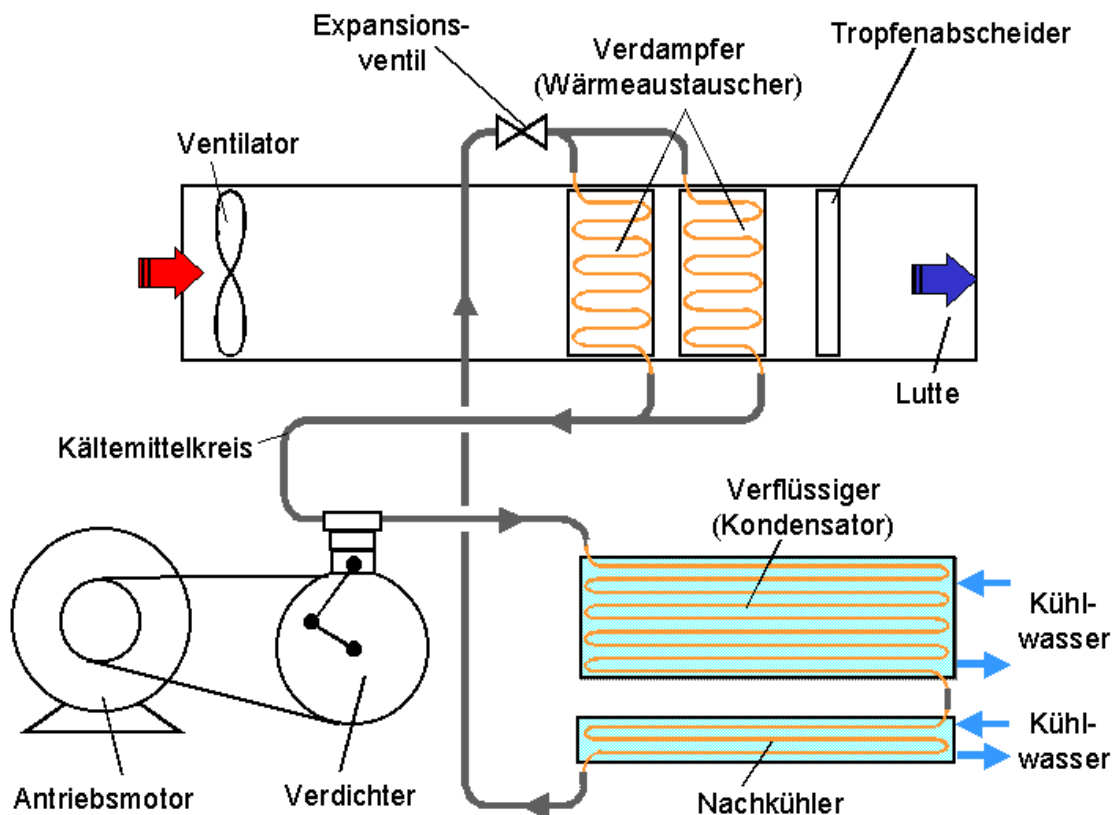


Bild 26: Schematische Darstellung einer Streckenkühlanlage

1.5.8 Wetterplanung

Der Wunsch, die Verteilung der Wetterströme in verzweigten Grubengebäuden rechnerisch untersuchen zu können, scheiterte lange an der Komplexität des Rechenverfahrens. Ein Durchbruch auf diesem Gebiet gelang Gärtner [10] im Jahr 1927, indem er diese Aufgabe nach ähnlichen Verfahren löste wie bei der Berechnung der Strom- und Spannungsverteilung in elektrischen Leitungsnetzen. Das „Ohmschen Gesetz“ der Elektrotechnik besagt, dass der Spannungsabfall U über einen Widerstand proportional zu dem hindurchfließenden Strom I ist, das heißt $U \sim I$. Die Proportionalitätskonstante wird als elektrischer Widerstand bezeichnet und mit R notiert. In Analogie zum „Ohmschen Gesetz“ $U = R I$ steht nunmehr die „quadratische Gleichung der Grubenbewetterung“ $p = R \dot{V}^2$. Dabei ist p der Druckabfall zwischen zwei Punkten mit der Einheit N/m^2 . R ist der Widerstand eines Wetterweges gemessen

in kg/m^7 oder – was gleichbedeutend ist – Ns^2/m^8 . Schließlich bedeutet \dot{V} der Wettervolumenstrom gemessen in m^3/s . Aufgrund der gefundenen Analogie zwischen der Elektrotechnik und der Strömungslehre kam es 1950 zum Aufbau von ersten elektrischen Wetternetzmodellen, woran sich auch die Centraal Proefstation der niederländischen Staatsmijnen in Heerlen beteiligten. In den Niederlanden wählte man im elektrischen Wetternetzmodell für den Widerstand Glühlampen, ebenso 1952 in einem analog arbeitenden Wetternetzmodell für das Bergwerk Lohberg. Im Gegensatz zu anderen inzwischen errichteten Wetternetzmodellen wurde hier allerdings erstmals der natürliche Auftrieb mit berücksichtigt, was für die Berechnung im Fall eines Grubenbrandes wichtig war. Dieses Wetternetzmodell diente außerdem zur kontinuierlichen Wetterüberwachung und Wetterplanung des Bergwerks Lohberg und wurde deshalb ständig an seine jeweiligen Veränderungen angepasst. Da eine Glühlampe einerseits durchbrennen konnte, andererseits ihre Kennlinie sich durch Alterung änderte, suchte man nach Alternativen zum Glühlampenmodell. Mit der Einführung von Widerstandszellen wurde dieser Sachverhalt berücksichtigt. Die Widerstände der Widerstandszellen mussten von Hand eingestellt werden und waren allgemein regelbar. Weil es sich auf verschiedene Wetternetze einstellen ließ, war diese Wetternetzmodell nicht nur für ein Bergwerk, sondern universell verwendbar. Auf der deutschen Bergbauausstellung in Essen wurde dieses Wetternetzmodell 1954 vorgestellt.

Den entscheidenden Schritt zur Berechnung von Wetternetzen mit elektronischen Digitalrechnern stellte schließlich Greuer [12] 1959 vor.

1.6 Schlussbetrachtung

Die Aufgabe der Wetterführung bestand seit jeher darin, die untertägigen Arbeitsplätze mit ausreichenden Wetter, das heißt mit frischer Luft zu versorgen. Dies ist erforderlich, um einerseits den dort arbeitenden Menschen atembare Atmosphäre zuzuführen, um außerdem das Auftreten schädliche Grubengaskonzentrationen durch entsprechende Verdünnung zu vermeiden und schließlich, um die unter Tage freiwerdende Wärme, die aus dem Gebirge beziehungsweise von den dort eingesetzten Maschinen stammt, abzuführen. In den Fällen, in denen die Wetterführung mit all ihren Hilfsmitteln alleine nicht mehr ausreichte, um diese Aufgaben zu erfüllen, kamen andere technische Maßnahmen wie z. B. Gasabsaugung oder Wetterkühlung zum Tragen. Der Begriff „Grubenbewetterung“ fasst die Gesamtheit all dieser Maßnahmen einschließlich ihrer messtechnischen Erfassung zusammen.

Die Grubenbewetterung hat wegen ihrer besonderen sicherheitlichen und ergonomischen Bedeutung im Bergbau aller hochentwickelten Industrienationen einen sehr hohen Stellenwert eingenommen, der durchaus vergleichbar ist mit dem wirtschaftlichen Erfolg. Beide gehören somit untrennbar zusammen. Die Notwendigkeit, aus wirtschaftlichen Gründen ständig leistungsstärkere Betriebe mit immer höherer Betriebspunktförderung

führen zu müssen, bedeutet gleichzeitig eine außerordentliche Herausforderung an die Grubenbewetterung, den bisher erreichten Stand nicht nur zu erhalten, sondern möglichst noch zu steigern. In diesem Bemühen arbeiten bergbaubetreibende Unternehmen, wissenschaftliche Institute, Hochschulen und Behörden – auch über nationale Grenzen hinweg – sehr eng und kooperativ zusammen. Die oben beschriebenen Ausführungen zeigten einen Überblick über die verschiedenartigen Entwicklungen auf dem Gebiet der Grubenbewetterung auf, die seit dem Altertum stattgefunden haben. Es geht jedoch auch daraus hervor, dass der gegenwärtig erreichte hohe sicherheitliche Stand der Grubenbewetterung nicht ohne verantwortungsvolles Handeln aller Mitarbeiter und auch nicht ohne erheblichen Kostenaufwand erreicht werden konnte, und aufrechtzuerhalten ist. Dies weiterhin sicherzustellen entspricht der ethischen Verpflichtung einer zivilisierten Gesellschaft sowie all derjenigen, die in einem solchen Wirtschaftssystem Verantwortung tragen. Nicht nur in längst vergangenen Zeitepochen, sondern auch in anderen Gesellschaftssystemen mit anderen ethischen Wertvorstellungen wurde stets eine Vernachlässigung der Sicherheit – sei es aus leichtsinnigem oder unverantwortlichem Handeln, sei es aus mangelndem Wissen oder sei es aus Kostengründen – mit Menschenleben bezahlt.

1.7 Literaturverzeichnis

- [1] Agricola, Georgius: *Vom Bergkwerck 12 Bücher*. Basel: Froben, 1557. Nachdruck Essen: Verlag Glückauf, 1985
- [2] Batzel, Siegfried: *Aus der Geschichte der Grubenbewetterung*. Bergbau-Archiv 19 (1958), Nr.1/2, S. 1 – 15.
- [3] Batzel, Siegfried: *Planung und Betrieb von Klimaanlageanlagen für Abbaubetriebe*. Glückauf 95 (1959), Nr. 1, S. 47 – 65.
- [4] Boldt, Hermann: *Meilensteine der Bergtechnik im Spiegel der Zeitschrift Glückauf*. Glückauf 126 (1990), Nr.3/4, S.155 – 173.
- [5] Busche, Hermann: *Betriebliche Maßnahmen gegen die Gefahren des Grubengases durch Überwachung der Bewetterung*. Glückauf 99 (1963), Nr. 10, S. 504 – 512.
- [6] Ertle, Georg J. M.: *Georgius Agricola. Dem Andenken des großen Gelehrten zu seinem vierhundertsten Todestage*. Glückauf 91 (1955), S. 1296 – 1307.
- [7] Forstmann, Richard; Paul Schulz: *Das Auftreten von Grubengas und seine Bekämpfung*. Glückauf 80 (1944), Nr. 13/14, S. 131 – 138.
- [8] Forstmann, Richard; Paul Schulz: *Grubengasgewinnung untertage*. Glückauf 80 (1944), Nr. 17/18, S. 175 – 179.
- [9] Fritzsche, H.: *Heutiger Stand und Zukunftsmöglichkeiten der Wetterkühlung in heißen Gruben*. Glückauf 76 (1940), Nr. 11, S. 149 – 157, Nr. 12, S. 167 – 174, Nr. 13, S. 181 – 188.
- [10] Gärtner, A: *Die Berechnung der Wetterströmung in verzweigten Grubengebäuden*. Glückauf 63 (1927), Nr. 48, S. 1741 – 1747 und Nr. 49, S. 1777 – 1787.
- [11] Gassmann, W.; W. Mommertz: *Schlagwetter im Abbau*. Glückauf 75 (1939), Nr. 24, S. 511 – 530.
- [12] Greuer, Rudolf: *Die Berechnung von Wetternetzen mit elektronischen Digitalrechnern*. Glückauf 95 (1959), Nr. 12, S. 769 – 773.
- [13] Heise, F.; K. Drekopf: *Die Bildung der Grubentemperaturen und die Möglichkeiten der Beeinflussung*. Glückauf 60 (1924), Nr. 28, S. 583 – 590 und Nr. 29, S. 607 – 614.
- [14] Herbst, Fr.: *Ueber die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung*. Glückauf 56 (1920), Nr. 21, S. 409 – 417, Nr. 22, S. 429 – 436, Nr. 23, S. 449 – 457, Nr. 24, S. 469 – 474 und Nr. 25, S. 489 – 492.
- [15] Hoffmann, Werner: *Die Bedeutung der Wettertechnik für den Ruhrbergbau*. Glückauf

- 89 (1953), Nr.35/36, S. 891 – 902.
- [16] Hoffmann, Werner: *Die Verbesserung des Grubenklimas mit Hilfe von Klimaanlage*. Glückauf 95 (1959), Nr. 1, S. 30 – 46.
- [17] Hubig, Peter: *160 Jahre Wetterlampen*. Essen: Verlag Glückauf GmbH, 1983
- [18] Hübner, Rolf: *Aufbau und Arbeitsweise des elektrischen Wettermodells >>Rheinlbe<<*. Glückauf 91 (1955), Nr. 25/26, S. 705 – 714.
- [19] Hußmann, K.: *Mehrstufige Propellerventilatoren*. Glückauf 68 (1932), Nr. 15, S. 351 – 354.
- [20] Jansen, F.: *Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes*. Glückauf 63 (1927), Nr. 1, S. 1 – 12, Nr.2, S. 50 – 58 und Nr. 3, S. 83 – 97.
- [21] Jičínský, Jaroslav: *Katechismus der Grubenwetterführung mit besonderer Berücksichtigung der Schlagwettergruben*. Mähr.-Ostrau: Verlag von R. Papauschek, Buch- und Kunsthandlung, 1903
- [22] Kette: *Ueber die Temperatur der Gebirgsschichten des Ruhrsteinkohlenbeckens*. Glückauf 36 (1900), Nr. 36, S. 733 – 740.
- [23] Leo, W.: *Erster Unterricht im Bergbau Quedlinburg*. Leipzig, 1844
- [24] Linsel, E.: *Grubenbewetterung*. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, 95 (1953), Nr. 14/15, S. 429 – 434.
- [25] Linsel, Eberhard: *Das Grubenklima*. Glückauf 87 (1951), Nr. 29/30, S. 677 – 688.
- [26] Luft, K.-F.: *Der >>Unor<<, ein neues Gasanalysengerät für den Bergbau*. Glückauf 98 (1962) S. 493 – 495.
- [27] McPherson, Malcolm: *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*. Chapter 1. <http://www.multimedia.vt.edu/mcpherson/chapter1.pdf>
- [28] Michelis, Jürgen: *Explosionsschutz im Bergbau unter Tage*. Essen: Verlag Glückauf GmbH, 1998
- [29] Neumann, W.; F. Plasche; G. Sonnemann: *Wetterlehre und Grubenbrandbekämpfung*. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1963
- [30] Quiring, H.: *Beitrag zur Geschichte des Bergbaus*. Glückauf 68 (1932), Nr. 27, S. 614 – 615.
- [31] Reuther, Ernst-Ulrich: *Lehrbuch der Bergbaukunde*. Essen: Verlag Glückauf GmbH, 1989
- [32] Rossenbeck; Rath: *Über künstliche Kühlung von Grubenwettern*. Glückauf 47 (1911), Nr. 7, S. 267 – 273.
- [33] Rößler, Balthasar: *Hell-polierter Berg-Bau-Spiegel*. Dresden: Winckler. 1700. Nachdruck Essen: Verlag Glückauf, 1980
- [34] Schulz, Paul: *Der neueste Stand der Grubengasabsaugung in Westeuropa*. Glückauf 88 (1952), Nr. 17/18, S. 426 – 434.
- [35] *Schwarzer Bergbuch*. Codex 10.852 der Österreichischen Nationalbibliothek. Schwarz: 1556. Nachdruck Essen: Verlag Glückauf, 1989
- [36] Skotschinski, A. A.; W. B. Komarow: *Grubenbewetterung*. Berlin: VEB Verlag Technik, 1956
- [37] Stach, E.: *Die Antriebsfrage bei Großventilatoren*. Glückauf 59 (1923), Nr. 33, S. 789 – 792.
- [38] Stapff, M.: *Versuche mit künstlicher Grubenkühlung auf der Zeche Radbod*. Glückauf 61 (1925), Nr.22, S. 661 - 665
- [39] Uthemann: *Neuere Erfolge auf Saarbrücker Gruben mit der Separatventilation der Aus- und Vorrichtungsarbeiten*. Glückauf 31 (1895), Nr. 67, S. 1209 – 1213.
- [40] von Breitenstein, Gerhard: *Betrachtungen über die Vorteile der Grubenlüfter achsialer*

Bauart. Glückauf 85 (1949), Nr. 49/50, S. 898 – 905.

- [41] von Wurstemberger, A.: *Ueber die Anwendung der Elektrizität auf Steinkohlen-Bergwerken.* Glückauf 31 (1895), Nr. 6, S. 94 – 98.
- [42] Weddige, Alfred: *Das Absaugen von Grubengas in seiner geschichtlichen Entwicklung.* Glückauf 91 (1955), Nr. 13/14, S. 337 – 346.
- [43] Weddige, Alfred; Josef Bosten: *Künstliche Ausgasung eines Abbaufeldes und Nutzbarmachen des Methans für die Gasversorgung.* Glückauf 80 (1944), Nr. 23/24, S. 241 – 250.
- [44] Wedding, F. W.: *Die Entwicklung der Grubenventilatoren im Ruhrbergbau.* Glückauf 68 (1932), Nr. 29, S. 652 – 654.
- [45] Weuthen, Paul: *Das ix-Diagramm und seine Anwendung bei grubenklimatischen Untersuchungen.* Glückauf 90 (1954), Nr. 11/12, S. 311 – 315.
- [46] Winkhaus, H.: *Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben.* Glückauf 58 (1922), Nr. 21, S. 613 – 616, Nr. 22, S. 645 – 653 und Nr. 23, S. 677 – 683.
- [47] Winkhaus, H.: *Die Wetter-Kühlanlage der brasilianischen Grube Morro Velho.* Glückauf 58 (1922), Nr. 40, S. 1197 – 1201.
- [48] *Wetterführung in Stollen und Strecken.* Glückauf 1 (1865), Nr. 18.
- [49] *Ueber einige neuere Wettermaschinen.* Glückauf 2 (1866), Nr. 23.
- [50] *Entzündungen schlagender Wetter auf den Englischen Steinkohlengruben.* Glückauf 5 (1869), Nr. 11.
- [51] *Die Verhütung von Unglücksfällen beim Bergbau.* Glückauf 5 (1869), Nr. 47.
- [52] *Ueber den Einfluß der Abbaumethoden auf das Leben und die Sicherheit der Arbeiter.* Glückauf 8 (1872), Nr. 39.
- [53] *Schlagende Wetter.* Glückauf 12 (1876), Nr. 44 und Nr. 45.
- [54] *Die Entwicklung der Bergtechnik in dem westfälischen Steinkohlenbergbaubezirk während der letzten 25 Jahre.* Glückauf 20 (1884), Nr. 6.
- [55] *Die preußische Schlagwetter-Kommission.* Glückauf 21 (1885), Nr. 59.
- [56] *Versuche, betreffend das Absaugen des Grubengases auf der Königsgrube im Wurm-Revier.* Glückauf 25 (1889), Nr. 36, S. 286.
- [57] *Mitteilungen über Versuche mit Ventilatoren der Systeme Guibal, Capell, Ser und Rateau.* Glückauf 29 (1893), Nr. 18, S. 218 – 220.
- [58] *Elektrische Drehstromanlage zum Betriebe eines Ventilators auf Grube Gerhard bei Saarbrücken.* Glückauf 31 (1895), Nr. 76, S. 1400.
- [59] *Versuche und Verbesserungen beim Bergwerksbetriebe in Preußen während des Jahres 1897.* Glückauf 34 (1898), Nr. 42, S. 820 – 825.
- [60] *Selbstthätig durch Wagen von beiden Seiten her zu öffnende Wetterthür.* Glückauf 38 (1902), Nr. 46, S. 1124.
- [61] *Die Verbreitung der einzelnen Ventilatorsysteme im rheinisch-westfälischen Kohlenbezirk.* Glückauf 43 (1907), Nr. 1, S. 15 – 16.
- [62] *Die Errichtung eines Grubensicherheitsamtes.* Glückauf 58 (1922), Nr. 6, S. 172 – 173.