

Entwicklung der Maßnahmen zur Kühllhaltung der Gruben  
unter besonderer Berücksichtigung der tiefen, warmen Bergwerke  
im östlichen Ruhrrevier

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der montanistischen Wissenschaften

bei  
Herrn em. O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Horst Wagner  
Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft,  
Department Mineral Resources and Petroleum Engineering,  
Montanuniversität Leoben

vorgelegt von  
Dipl.-Ing. Volker Schacke

im März 2009

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

## **Danksagung**

Bergbau ist nicht eines Mannes Sache, deshalb war ich bei der Erstellung dieser Arbeit auf die Unterstützung angewiesen, für die ich mich hier bedanke.

Als der Gedanke reifte, nach dem Abschluss meines Arbeitslebens zu promovieren, war Herr em. O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Horst Wagner sofort bereit, mich bei meinem Vorhaben zu betreuen.

Ich verdanke ihm eine Vielzahl von Anregungen und bedanke mich für seine Bereitschaft, ein ständiger Ansprechpartner zu sein.

Bei der Recherche ermöglichten mir die Damen und Herren des Bergbau-Archivs Bochum, die dort vorhandenen, umfangreichen Quellen zu nutzen.

Das Gleiche gilt für die Bergbausammlung Rotthausen, in der ich wertvolle Quellenstudien betreiben konnte.

Mein besonderer Dank gilt meiner Frau Ilse und meinen Töchtern Maret und Gunbritt, die mit viel Geduld, aber auch eigenem Interesse, meine Leidenschaft Bergbau schon über viele Jahre begleiten.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	8
2. Physikalische Größen	12
3. Klimabeeinflussende Faktoren	17
3.1 Temperaturschwankungen der Atmosphäre	17
3.2 Gebirgswärme	17
3.3 Selbstverdichtung	19
3.4 Oxidationswärme	20
3.5 Feuchtigkeitsgehalte	25
3.6 Kondensationswärme und Verdunstungskälte	34
3.7 Wettergeschwindigkeiten und Wettermengen	40
3.8 Zuströmendes Gas	44
3.9 Wasserzuflüsse	44
3.10 Wärme aus Förderung und Haufwerk	45
3.11 Wärme durch Mechanisierung	49
3.12 Zusammenwirken der Wärmefaktoren auf der Zeche Sachsen	53
4. Auswirkungen des Grubenklimas auf den Menschen	64
4.1 Frühe Erkenntnisse bis zur Änderung des Allgemeinen Berggesetzes 1905	64
4.2 Die Entwicklung in den 1920er Jahren	66
4.3 Die Entwicklung nach dem 2. Weltkrieg	72
4.4 Klimaverordnungen	78
4.5 Erkenntnisse im Goldbergbau Südafrikas	79
4.6 Neuere Erkenntnisse	84
4.7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	87
5. Klimamaßstäbe	91
5.1 Der Beginn der Beschäftigung mit der Klimamessung	91
5.2 Systematisierung der Klimafragen auf den tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers	91
5.3 Die Entwicklung nach dem zweiten Weltkrieg	100
5.4 Aktueller Stand und Ausblick	105
5.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	106
6. Entwicklung seit dem 19. Jahrhundert	109
6.1 Tiefe Gruben weltweit und dortige Maßnahmen	109

6.1.1	Kühlung mit Eis im 19. Jahrhundert	109
6.1.2	Die erste Kälteanlage im Bergbau	109
6.1.3	Frühe Wetterkühlung in Südafrika	113
6.1.4	Frühe Wetterkühlung in den USA	115
6.1.5	Wetterkühlung in Südafrika nach dem 2. Weltkrieg	117
6.1.6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	119
6.2	Historische Entwicklung der Klimatisierung in Deutschland	121
6.2.1	Die Zeit vor dem ersten Weltkrieg	121
6.2.1.1	Erste Überlegungen zur Verbesserung der Wetterführung und des Grubenklimas	121
6.2.1.2	Berieselung	122
6.2.1.3	Kühlung des Spritzwassers für die Berieselung	122
6.2.1.4	Die Verwendung „flüssiger Luft“	123
6.2.1.5	Betriebliche Bemühungen zur Wetterkühlung	124
6.2.1.6	Erster Vorschlag für eine Kälteanlage	125
6.2.2	Die Zeit nach dem ersten Weltkrieg	129
6.2.2.1	Systematik von Prof. Herbst zur Wetterkühlung	129
6.2.2.2	Kühlung mit Wasser	131
6.2.2.3	Die Pionierleistung auf der Zeche Radbod	135
6.2.2.4	Die Entwicklung bis zum 2. Weltkrieg	141
6.3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	143
7.	Maßnahmen zur Beherrschung des Grubenklimas	148
7.1	Maßnahmen ohne Klimatisierung	148
7.1.1	Wettertechnische Maßnahmen	148
7.1.1.1	Erhöhung der Wettermengen	148
7.1.1.2	Grubenzuschnitt, Streckenquerschnitte	157
7.1.1.3	Abwärtsbewetterung	163
7.1.1.4	Stapelbau	165
7.1.1.5	Versatz	166
7.1.2	Kontrolle des Wärmezufusses	168
7.1.2.1	Nutzung des Kältemantels im Gebirge	168
7.1.2.1.1	Messung und Erforschung der Gebirgswärme und ihrer Wechselwirkung mit den Wettern	168
7.1.2.1.2	Aufbau und Nutzung des Kältemantels	177
7.1.2.1.3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	179
7.1.2.2	Abdichtung und Isolierung von Grubenbauen	181
7.1.2.3	Isolierung von Lutten	185
7.1.2.4	Isolierung von Rohrleitungen (Wasserleitungen)	190
7.1.2.5	Kontrollierte Ableitung von anfallendem Wasser	191
7.1.2.6	Vermeidung des Wärmeübergangs aus dem Haufwerk, durch Oxidation usw.	193
7.1.3	Zusätzliche Maßnahmen	195
7.1.3.1	Verdunstung von Wasser	195

7.1.3.2	Beseitigung von Feuchtigkeitsquellen	203
7.1.3.3	Wettertrocknung	205
7.1.3.3.1	Wettertrocknung durch Temperaturverringern	205
7.1.3.3.2	Trocknung der Wetter mit Salzen	205
7.1.3.3.3	Trocknung der Wetter mit Kieselsäure-Gel	207
7.1.3.3.4	Trocknung der Wetter mit anderen Absorptionsmitteln	208
7.1.3.3.5	Kombination von Wettertrocknung und Verdunstungskühlung	210
7.1.3.3.6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	212
7.1.3.4	Vorkühlung der Wetter auf natürlichem Wege	215
7.1.3.4.1	Gegebenheiten an der Tagesoberfläche und in der oberen Erdkruste	215
7.1.3.4.2	Nutzung der Temperaturverhältnisse in der neutralen Zone	216
7.1.3.4.3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	220
7.1.3.5	Kühlung durch Eis	222
7.1.3.5.1	Frühe Verwendung von Eis zur Wetterkühlung	222
7.1.3.5.2	Nutzung des Eises als Kälteträger	226
7.1.3.5.3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	229
7.2	Klimatisierung	231
7.2.1	Druckluftkühlung	231
7.2.1.1	Das Dietzsche Kühlverfahren	231
7.2.1.2	Kühlung und Trocknung der Druckluft	232
7.2.1.3	Kühleffekt durch Druckluftmaschinen	234
7.2.1.4	Kaltluftmaschinen	237
7.2.1.5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	240
7.2.2	Klimatechnik	243
7.2.2.1	Grundsatzdiskussion zentrale/ dezentrale Kühlung bzw. über Tage/ unter Tage	243
7.2.2.1.1	Entwicklung bis zum zweiten Weltkrieg	243
7.2.2.1.2	Entwicklung nach dem zweiten Weltkrieg	249
7.2.2.1.3	Zusammenfassung	252
7.2.3	Sprühkühlung	254
7.2.3.1	Frühe Anwendungen der Sprühkühlung	254
7.2.3.2	Anwendung der Sprühkühlung nach dem zweiten Weltkrieg	257
7.2.3.3	Schlussfolgerungen	258
8.	Arbeitsschutz	260
8.1	Persönlicher Klimaschutz	260
8.1.1	Erste Erprobungen in Südafrika	260
8.1.2	Versuche in Deutschland	260
8.1.3	Weitere Anwendungen	263
8.1.4	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	263
8.2	Hitzeschutzgetränke	264

9.	Zusammenfassende Überlegungen	266
9.1	Beurteilung der Maßnahmen aus heutiger Sicht	266
9.1.1	Wissenschaftliche Veröffentlichungen als Grundlage für eine Beurteilung	266
9.1.2	Beurteilung der Maßnahmen zur Klimabeherrschung mit den unter 9.1.1 dargestellten Grundlagen	274
9.2	Einige Prozesse zur Einführung und Verbreitung der Klimatechnik	279
9.3	Zusammenfassung der Wärmequellen und Maßnahmen	286
10.	Offene und ungelöste Fragen	287
11.	Zusammenfassung	289
12.	Ausblick	295

**Im Text werden die verwendeten Literaturstellen jeweils in Klammern ( ) angegeben.**

**Die Literaturstellen werden der besseren Übersichtlichkeit wegen am Ende einzelner Abschnitte aufgeführt.**

**Textstellen, die im wesentlichen Aussagen des Autors zum Ausdruck bringen, und somit nicht ausschließlich Literaturstellen zitieren, sind in *kursiver Schrift* dargestellt.**

## 1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit soll am Beispiel des Steinkohlenbergbaus im Ruhrrevier die Entwicklung der Beherrschung schwieriger klimatischer Verhältnisse in tiefen Bergwerken aufzeigen und einen Beitrag zur Technologieentwicklung der Klimabeherrschung im Steinkohlenbergbau leisten.

Für die Bergwerke, deren große Teufen aus einer langen Nutzung der Lagerstätte oder großer Überlagerung resultierte, war die Lösung der Klimafrage von existentieller Bedeutung.

Mit der Nordwanderung des Steinkohlenbergbaus im Ruhrgebiet ergab sich zwingend aus dem Generaleinfallen der Lagerstätte nach Nord-Nord-Ost eine Zunahme der Teufen.

Etwa um 1900 hatte der Steinkohlenbergbau auch die gesamte Region Kamen/Hamm/Ahlen erreicht. Mit dem Abteufen der Zeche Werne war erstmals die Lippe nach Norden überschritten.

Während zu dieser Zeit im südlichen Ruhrgebiet zum Teil noch Stollenbergbau betrieben wurde, ging der Bergbau im östlichen Ruhrgebiet vor etwa 100 Jahren bereits in Teufen von 700 bis 1.000 m und darüber um.

Eine kurze Darstellung der in der genannten Region betriebenen Bergwerke (**I**):

Bergwerk	Teufbeginn	Erreichen des Karbons	Tiefste Sohle in den Anfangsjahren
Monopol I/II	1876	287 m	762 m
Werne	1899	580 m	731 m
De Wendel (Heinrich Robert)	1901	562 m	727 m
Maximilian	1902	634 m	765 m
Radbod	1905	695 m	844 m
Hermann	1907	799 m	950 m
Westfalen	1909	888 m	1035 m
Sachsen	1912	758 m	946 m

Am Nordrand des Ruhrgebiets bewegten sich zu dieser Zeit die Bergwerke Lohberg, Baldur, Fürst Leopold, Brassert, Auguste Victoria, Ewald Fortsetzung, Emscher Lippe und Waltrop in annähernd großen Teufen. Das gleiche gilt für einige Bergwerke im mittleren Ruhrgebiet, die auf Grund ihrer Lebensdauer bereits in größere Teufen fortgeschritten waren.

Je nach Quellenlage werden auch Daten und Entwicklungen dieser Bergwerke berücksichtigt.

Ein wesentliche Problem durch die große Überlagerung ist die klimatische Beeinträchtigungen der Bergleute durch die zunehmende Teufe.

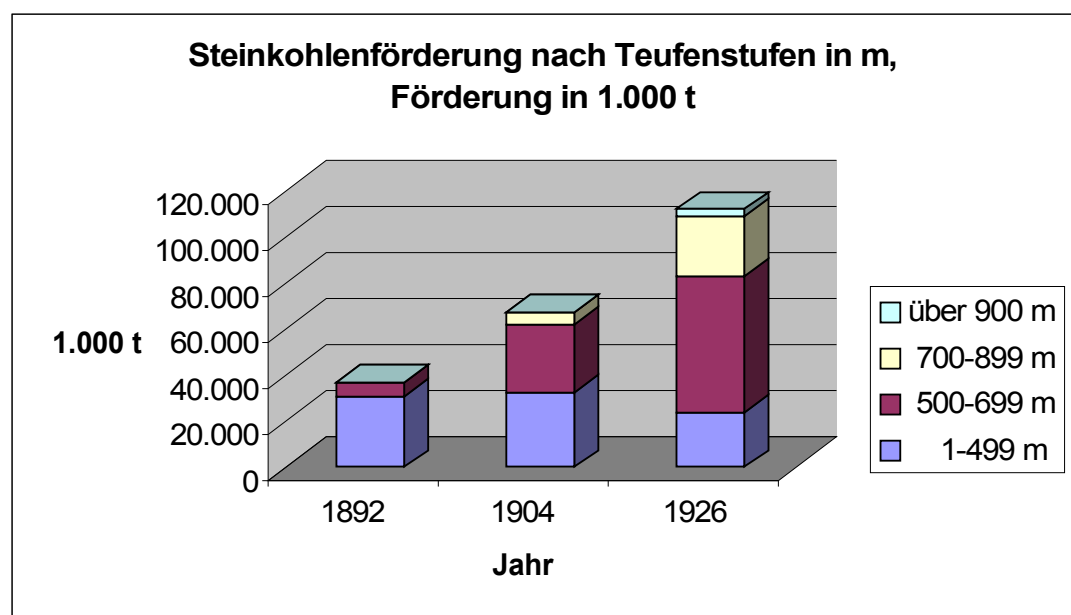


Die Beherrschung der großen Teufen war für die tiefen Gruben des östlichen Ruhrreviers von existentieller Bedeutung.

Dass die Bergbaugesellschaften bereit waren, diesen Entwicklungs- und Kostenaufwand zu tragen, lag sicher auch an den hervorragenden Kohlenqualitäten in den dortigen Lagerstättenteilen, die vor allem eine sehr gute Fettkohle als Ausgangsprodukt zur Koksherstellung lieferten.

Vom Ende des 19. Jahrhunderts bis Mitte der 1920er Jahre kam es im Ruhrbergbau zu einer enormen Zunahme der Förderung von etwa 37 Mio. t auf über 112 Mio. t.

Die in **Abbildung 1** dazu dargestellten Daten stammen aus dem Standardwerk von Gebhardt zur Geschichte des Ruhrbergbaus (2).



Im gleichen Zeitraum wurden die Teufenbereiche über 700 m erschlossen, aus denen in den 1920er Jahren beträchtliche Teile der Produktion stammten. 1926 wurde bereits etwa ein Viertel der Förderung aus Teufen über 700m erbracht.

Die Werte beziehen sich dabei auf die Förderanteile aus den jeweiligen Gewinnungsteufen.

Dieser Teufenzuwachs resultierte zum Teil daraus, dass auf den älteren Bergwerken die Lagerstätten in geringeren Teufen bereits erschöpft waren und deshalb tiefere Lagerstättenteile in Angriff genommen wurden.

Andererseits fiel in diese Zeit die Inbetriebnahme der tiefen Gruben im nördlichen bzw. östlichen Ruhrrevier mit den mächtigen Mergelüberdeckungen.

Ausgelöst durch die Teufenzunahme und die Vergrößerung der Grubengebäude war – verbunden mit der Verkürzung der Schichtzeit in warmen Betrieben

durch die Veränderung des Allgemeinen Berggesetzes im Jahr 1905 - auf Bergwerken die Produktivität stark zurückgegangen; auf dem Bergwerk Radbod um etwa 40%.

In der vorliegenden Arbeit soll an Hand der zeitgenössischen Literatur untersucht werden, wie die Erforschung des Einflusses der großen Teufen auf die klimatischen Verhältnisse verlief und wie geeignete Maßnahmen und Verfahren auf den tiefen Gruben entwickelt und angewendet wurden.

Die interessantesten Zeiträume, in denen sich wichtige Entwicklungen zur Beherrschung der großen Teufen vollzogen, waren in erster Linie die Jahre zwischen den beiden Weltkriegen und die ersten Jahre nach dem zweiten Weltkrieg.

Die Untersuchung behandelt das Thema

- historisch
- durch Interpretation der damals angewendeten Untersuchungen und Methoden aus heutiger Sicht

Zuerst wurden Methoden gewählt, die rein wettertechnischer Natur waren.

Auch andere Methoden, wie z.B. verschiedene Methoden der Klimatisierung, wurden versucht, die aus heutiger Sicht gute Ansätze darstellten.

Diese wurden teilweise wieder verworfen,

- entweder weil die notwendige Technologie noch nicht vorhanden war
- oder weil das Wissen und die Erkenntnisse noch nicht ausreichend waren, um die Chancen und Möglichkeiten einer damals neuen Methode erkennen zu können.

Es wird eine Beurteilung der Anregungen zur Klimabeherrschung aus heutiger Sicht vorgenommen und beispielhaft dargestellt, wie neue Verfahren eingeführt und den Erfordernissen der Kühlhaltung der Gruben angepasst wurden.

Insofern soll die Arbeit einen Beitrag zur Technologiegeschichte leisten.

Es erfolgt eine Beurteilung der Vor- und Nachteile, Grenzen und Möglichkeiten der verschiedenen Lösungsansätze zur Klimafrage.

Auf der Grundlage der Kenntnisse der Vergangenheit ergeben sich auch Anregungen für zukünftige Entwicklungen, zumal wegen der Bedeutung des Steinkohlenbergbaus im Ruhrrevier Literatur in großem Umfang zur Verfügung steht.

Faktoren der Klimafrage, für die keine Lösungen gefunden wurden, werden angesprochen.

Zum besseren Verständnis werden einige physikalische Größen vorab aufgeführt.

**Literatur:**

(1) Huske, J.: Die Steinkohlenzechen im Ruhrrevier, Deutsches Bergbau-Museum, 1998

(2) Gebhardt, G.: Ruhrbergbau, Geschichte, Aufbau und Verflechtung seiner Gesellschaften und Organisationen, Verlag Glückauf Essen, 1957, Seite 495

## 2. Physikalische Größen

### Trockentemperatur (1)

Die Trockentemperatur der Wetter ist die Temperatur, die mit einem trockenen Thermometer gemessen wird. Um den Einfluss der Wärmestrahlung auszuschalten, wird in der Regel ein Psychrometer mit Strahlungsschutz verwendet.

Die Trockentemperatur resultiert aus der Bewegung der Moleküle im Gas und ist das Maß für die mittlere Geschwindigkeit der Moleküle.

Sie wird in °C gemessen oder als absolute Temperatur in K (Grad Kelvin), ausgehend vom absoluten Nullpunkt bei  $-273,16^{\circ}\text{C}$ .

### Absolute Feuchtigkeit (1)

Die absolute Feuchtigkeit bezeichnet die in der Luft tatsächlich enthaltene Dampfmenge in  $\text{g}/\text{m}^3$ .

### Relative Feuchtigkeit (1)(2)

Die größte Wasserdampfmenge, die die Luft bei einer bestimmtem Temperatur aufnehmen kann, steigt mit der Trockentemperatur. So kann  $1 \text{ m}^3$  Luft bei  $10^{\circ}\text{C}$  9,4 g, bei  $20^{\circ}\text{C}$  17 g, bei  $30^{\circ}\text{C}$  30 g und bei  $40^{\circ}\text{C}$  51 g Wasserdampf aufnehmen.

Als relative Luftfeuchtigkeit wird das Verhältnis zwischen der tatsächlich vorhandenen und der bei der gegebenen Temperatur maximal möglichen Wassermenge bezeichnet.

Anders ausgedrückt ist die relative Luftfeuchtigkeit das Verhältnis zwischen dem tatsächlich herrschenden Wasserdampfdruck  $p_D$  [Pa] zu dem Sättigungsdampfdruck  $p_s$  [Pa], dessen Höhe von der Trockentemperatur abhängt.

Da die relative Luftfeuchtigkeit  $\varphi$  in Prozent angegeben wird, lautet die Formel zu ihrer Berechnung:  $\varphi = p_D / p_s * 100$  [%].

Daraus folgt, dass die relative Luftfeuchtigkeit mit sinkender Trockentemperatur ansteigt, weil  $p_s$  kleiner wird. Steigt  $\varphi$  auf den Maximalwert von 100% wird damit die **Sättigungsgrenze** bzw. der **Taupunkt** erreicht.

### Feuchttemperatur (3)

Die Feuchttemperatur ist der tiefste Wert, den das befeuchtete, belüftete und strahlungsgeschützte Thermometer eines Psychrometers erreichen kann; sie wird deshalb auch als Kühlgrenztemperatur bezeichnet.

Sowohl der Einfluss der Trockentemperatur, der Luftfeuchtigkeit als auch des Luftdrucks wird dabei berücksichtigt.

Die Feuchttemperatur wurde in den 1920er Jahren von Winkhaus ursprünglich als „**Nasswärmegrad**“ eingeführt.

### **Belgische Effektivtemperatur (3)(4)**

Die „Belgische Effektivtemperatur“ ist ein seit 1947 verwendeter Klimamischwert, der sich aus der Trocken- und der Feuchttemperatur errechnet. Die Formel für die Belgische Effektivtemperatur lautet:  $t_{\text{effB}} = 0,1 t_{\text{trocken}} + 0,9 t_{\text{feucht}}$  in °C. Die Belgische Effektivtemperatur vernachlässigt die Wettergeschwindigkeit unter der Annahme, dass in einem bestimmten Bergbauggebiet bei ähnlichen Lagerungsbedingungen eine gleichbleibende mittlere Wettergeschwindigkeit von 1,0 bis 1,5 m/sec vorherrscht.

### **Amerikanische Effektivtemperatur (5)**

Der Klimasummenwert „Amerikanische Effektivtemperatur“ ( $t_{\text{effA}}$ ) berücksichtigt die Trockentemperatur, die Feuchttemperatur und die Wettergeschwindigkeit. Er wurde 1924 nach subjektiven Angaben von Probanden durch den Amerikaner C.P. Yaglou definiert. Yaglou hatte Menschen in einer Kammer unterschiedlichem Klima ausgesetzt und sie anschließend nach ihrem subjektiven Befinden befragt. Das Ergebnis war das Klimamaß nach Yaglou oder auch „Effektivtemperatur“, später auch **Basiseffektivtemperatur (BET)**.

Die Effektivtemperatur wird im deutschen Steinkohlenbergbau an Hand eines in der Klima-Bergverordnung festgelegten Schaubilds aus der Trockentemperatur, der Feuchttemperatur und der Wettergeschwindigkeit ermittelt.

### **Wärmeleitfähigkeit (6)(7)**

Da in der Natur das Bestreben besteht, unterschiedliche Temperaturen auszugleichen, fließt Wärme von Orten mit höherer Temperatur zu Orten mit niedrigerer Temperatur. Dadurch kommt es innerhalb fester Körper zu einem Wärmefluss durch Wärmeleitung. Physikalisch gesehen überträgt ein Molekül seine überschüssige Schwingungsenergie an die benachbarten, weniger energiereichen Moleküle, und so pflanzt sich die Bewegungsenergie, die Wärme, durch den festen Körper fort; dadurch entsteht die Wärmeleitung. Die durch eine Flächeneinheit fließende Wärmemenge [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] hängt nach dem Fourierschen Gesetz von der Höhe des Temperaturgefälles und von der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  [ $\text{W}/\text{mK}$ ] ab.

Die Wärmeleitfähigkeit im Gebirge ist je nach Richtung verschieden. Parallel zur Schichtung hat sie einen höheren Wert als senkrecht dazu. Mit dem Quarzgehalt der Gesteine steigt die Wärmeleitfähigkeit an.

Aus Messungen der Wärmeleitfähigkeit ergab sich für Schieferthon parallel zur Schichtung ein mittleres  $\lambda$  von 2,9  $\text{W}/\text{mK}$ , für Sandstein ein mittleres  $\lambda$  von 3,8  $\text{W}/\text{mK}$ .

Senkrecht zur Schichtung betrug das mittlere  $\lambda$  für Schieferthon 1,9  $\text{W}/\text{mK}$  und für Sandstein 3,4  $\text{W}/\text{mK}$ .

Für Kohle wurden Wärmeleitfähigkeiten zwischen 0,2 und 0,27 W/mK gemessen.

### **Wärmeübergangszahl (6)(7)(8)**

Wärmeübergang ist die Wärmeübertragung von einer strömenden Flüssigkeit oder einem Gas an eine feste Wand und umgekehrt.

Zur Berechnung wird die Wärmeübergangszahl  $\alpha$  definiert. Sie hängt von allen den Wärmeübergang beeinflussenden Größen ab.

Bei der Wärmeübertragung vom Gebirge auf die Wetter spielt im wesentlichen nur die Konvektion eine Rolle.

Der Wärmetransport erfolgt bei der Konvektion senkrecht zur Übertragungsfläche und senkrecht zur Wetterrichtung. Ein bestimmtes Volumen, das sich an der Übertragungsfläche befindet und eine entsprechend hohe Temperatur angenommen hat, wird durch den Wetterstrom fortbewegt und gelangt in die kühleren Teile des strömenden Mediums.

Die durch die Konvektion übertragene Wärmemenge ist proportional der Größe der Übertragungsfläche und dem Temperaturunterschied zwischen der Übertragungsfläche und den Wettern.

Der entsprechende Proportionalitätsfaktor wird als Wärmeübergangszahl  $\alpha$  [W/m<sup>2</sup>K] bezeichnet. Die Wärmeübergangszahl  $\alpha$  ist näherungsweise proportional der Wettergeschwindigkeit  $w^{0,8}$  in m/s und steigt mit der Rauigkeit der Oberfläche des Grubenbaues bzw. mit der Art und Größe des Ausbaus.

### **Wärmedurchgangszahl (9)**

Die Wärmedurchgangszahl K hat die Dimension W/m<sup>2</sup>K und fasst die Wärmeleitung durch eine Rohrleitung (oder Lutte) und den inneren und äußeren Wärmeübergang an einer Leitung zusammen.

### **Schmelzwärme (10)**

Die Schmelzwärme bezeichnet die Energie [J], die aufgewendet werden muss, um einen Körper vom festen zum flüssigen Aggregatzustand zu überführen.

Die spezifische Schmelzwärme ist die zum Verflüssigen von 1 kg eines festen Körpers bei konstantem Druck und konstanter Temperatur erforderliche Wärmemenge in kJ. Beim Erstarren wird dieselbe Wärmemenge frei. Die Dimension der spezifischen Schmelzwärme ist kJ/ kg.

Die Schmelzwärme von Wasser (Eis) beträgt 334 kJ/ kg.

### **Spezifische Wärmekapazität (10)**

Die spezifische Wärmekapazität ist die Wärmemenge, die erforderlich ist, um 1 kg eines Stoffes um 1 K zu erwärmen. Die Dimension der spezifischen Wärmekapazität ist kJ/ kgK.

Die spezifischen Wärmekapazität von Wasser beträgt 4,188 kJ/ kgK und von Luft 1,001 kJ/ kgK.

### Latente Wärme (10)

Als latente Wärme bezeichnet man die bei einem Phasenübergang aufgenommene oder abgegebene Wärme. Sie heißt latent (verborgen), weil ihre Aufnahme oder Abgabe nicht zu einer Temperaturveränderung führt. Beispiele sind die **Schmelzwärme** beim Phasenübergang von fest auf flüssig und die **Verdampfungswärme** beim Übergang von flüssig auf gasförmig. Es muss für die Überführung in einen anderen Aggregatzustand (fest auf flüssig, flüssig auf gasförmig) Energie aufgewendet werden, um die Bindungskräfte zwischen den Molekülen bzw. Atomen zu überwinden, ohne dass die Temperatur erhöht wird. Die Einheit für die latente Wärme ist Joule [J].

### Verdunstungskälte (10)

Verdampft eine Flüssigkeit in die Gasphase eines anderen Stoffes (Wasser in Luft), so spricht man von Verdunstung.

Für den Übergang von der flüssigen in die gasförmige Phase muss Energie [J] zugeführt werden zur Überwindung der Anziehungskräfte zwischen den Flüssigkeitsteilchen, die sogenannte Verdunstungswärme.

Diese Energie wird der Umgebung entzogen und führt dadurch zu der Abkühlung, der Verdunstungskälte.

### Kühlstärke (11)

Die Kühlstärke (KS) ist die Einheit für die Kühlleistung.

Für die Festlegung wurde angenommen, dass einer Fläche von 1 cm<sup>2</sup> in 1 Sekunde 1 Millikalorie Wärmemenge entzogen wird.

Als Einheit für die Kühlstärke (KS), die in Anlehnung an die „Pferdestärke“ so genannt wurde, oder den Katagrad – entsprechend dem von Hill 1916 erfundenen Katathermometer – wird 1 mcal/ cm<sup>2</sup>/ s verwendet.

In älterer Literatur werden noch die Termini „Milligrammkalorie“ bzw. „mgcal“ verwendet, mit denen aber die oben genannten Einheiten für die Energie gemeint sind.

### Physikalische Dimensionen in alter und neuer Definition

Physikalische Größe	Alte Bezeichnung	Neue Bezeichnung	Umrechnung
Kälteleistung	Frigorie	Kilojoule (kJ)	1 Frig.= 4.186,8 J = 4,1868 kJ
Elektrische Leistung	PSe	kW	1 Pse = 0,75 kW
Leistung	PS	kW	1PS = 0,74 kW
Druck	at	Pa	1at = 9.8066,5 Pa = 98,07 kPa

			= 0,1 MPa
Druck	Torr	bar, Pa	750 Torr = 1 bar = 1.000 mbar = 100 kPa
Wärmeeinheiten als Leistungsgröße (Energie pro Zeiteinheit)	WE	kcal/h kW	1 WE = 1 kcal/h 1.000 WE=1 Mcal/h = 1,16 kW
Energie	kcal	kJ	1 kcal = 4,19 kJ
Wärmemenge		W/ m <sup>2</sup>	
Wettergeschwindigkeit		m/ s	

### Literatur:

- (1) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen,1981, S. 62 - 63
- (2) Stočes,B. und Černik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S.103 - 104
- (3) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen,1981, S. 22 - 26
- (4) Brüner,H.: Physiologische Grenzen und Bereiche für das Arbeiten in warmem Klima, Glückauf 1960, S. 686 - 690
- (5) Reuther,E.: Lehrbuch der Bergbaukunde, Verlag Glückauf Essen 1989, S. 708 - 712
- (6) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen,1981, S. 68 - 72
- (7) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen,1981, S. 95 - 100
- (8) Hütte, Theoretische Grundlagen, Berlin 1955, S. 495
- (9) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen,1981, S. 91 - 93
- (10) Hütte, Theoretische Grundlagen, Berlin 1955, S. 428
- (11) Winkhaus,H.: Gesamtwärme und Kühlleistung in tiefen, heißen Gruben, Glückauf 1923, S. 233 - 240



### 3. Klimabeeinflussende Faktoren

#### 3.1 Temperaturschwankungen der Atmosphäre

*Die Temperaturschwankungen in der Atmosphäre wirken sich auf den obersten Bereich der Erdkruste und auf die Temperaturen aus, mit denen die Wetter angesaugt werden.*

*Auf die Zusammenhänge und daraus resultierenden möglichen Maßnahmen wird unter Punkt 7.1.3.4 näher eingegangen.*

#### 3.2 Gebirgswärme

*Bei der Erforschung der Ursachen für die hohen Temperaturen war schon früh klar, dass die Wärme im Gebirge – gemeint ist dabei zunächst die ursprüngliche Gesteinstemperatur im unverritzten Gebirge - eine wichtige Rolle spielt.*

Dietz **(1)** erwähnt im Jahr 1911 die geothermische Tiefenstufe für das Steinkohlengebirge Westfalens, die mit 28 m ermittelt wurde, unter mächtigen Deckschichten mit 25 m, jeweils ausgehend von der Teufe von 25 m, in der die mittlere Jahrestemperatur von 9°C herrscht.

1922 geht Winkhaus **(2)** in seinen Ausarbeitungen zur Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben auf die geothermische Tiefenstufe von 28 m je 1°C ein und berichtet, dass die theoretisch so gefundenen Werte durch Messungen auf der Zeche Radbod bestätigt werden konnten.

Schulz **(3)** verweist 1933 darauf, dass in Deutschland unterhalb der neutralen Zone in etwa 25 m Teufe die geothermischen Tiefenstufen in der Regel 33 bis 34 m betragen. Im Bereich fossiler Lagerstätten werden die geothermischen Tiefenstufen kleiner. So gibt Schulz **(3)** für das Saargebiet Tiefenstufen von 22 m, für das Ruhrrevier 23 bis 28 m an, die aber auch auf 18 m sinken können. Vor allem in den stärker inkohlten und weniger feuchten Schichten, zum Beispiel in den Magerkohlenpartien, sind nach Schulz die geothermischen Tiefenstufen kleiner als in den oberen Fett- und Gasflammkohenschichten.

Beobachtungen und Messungen zeigten, dass die Höhe der geothermischen Tiefenstufe weltweit sehr stark schwankt.

Pohl **(4)** berichtet 1939 von geothermischen Tiefenstufen, die, durch Vulkanismus beeinflusst, im Kaiserstuhl-Gebiet bei lediglich 15 – 20 m liegen, auf der Schwäbischen Alb bei nur 11,1 m.

Als anderes Extreme gibt Pohl Südafrika mit 120 m an **(4)**.

Die empirisch festgestellten starken Schwankungen der geothermischen Tiefenstufe sowohl in senkrechter als auch in waagerechter Richtung waren für den Ausschuss für Wettertechnik bei der Deutschen Kohlenbergbauleitung im Jahr 1951 der Anlass, sich mit der Erforschung der geothermischen Tiefenstufe im Ruhrgebiet zu beschäftigen **(5)**.

*Ziel der Untersuchungen sollte es sein, die zu erwartenden Gebirgstemperaturen so genau voraussagen zu können, dass betriebliche Maßnahmen zur Bekämpfung hoher Temperaturen daraus abzuleiten waren.* Das galt nach Müller (5) auch für die Wahl von Schachtansatzpunkten; danach sollten Schächte nach Möglichkeit nicht in Bereichen mit niedrigen geothermischen Tiefenstufen abgeteuft werden, da dort die einziehenden Wetter bereits besonders erwärmt würden.

Hahne und Patteisky (6) berichten 1952 über Messungen der Gebirgswärme, die im Ruhrbergbau auf Bergwerken durchgeführt wurden; sie halten allerdings einen Teil der Messergebnisse für nicht zuverlässig, weil die Messungen erst zu einem Zeitpunkt durchgeführt wurden, als die ursprüngliche Gebirgstemperatur bereits durch den umgehenden Bergbau beeinflusst war. Für einige Bergwerke sind größere Schwankungen der geothermischen Tiefenstufen innerhalb desselben Grubenfeldes festgestellt worden, besonders dann, wenn in Teilen des Grubenfeldes warme Sole auftritt. Das kann sogar dazu führen, dass auf einer tieferen Sohle geringere ursprüngliche Gebirgstemperaturen auftreten als auf einer höheren (6), wo zum Beispiel eine klüftige Sandsteinbank mit warmer Sole eine Temperaturerhöhung herbeiführt. Eine Rolle spielt nach Hahne und Patteisky auch die Wärmeleitfähigkeit der Gesteine. Bei höherer Wärmeleitfähigkeit geht die Wärmeableitung schneller vor sich, und die geothermische Tiefenstufe steigt in Relation zu anderen Teilen des Gebirges, in denen die Wärme wegen der geringeren Leitfähigkeit länger erhalten bleibt.

Benthaus (7) berichtet 1959 über Untersuchungen im Grubenfeld der Gewerkschaft Auguste Victoria, deren Zielrichtung die Feststellung der tatsächlichen ursprünglichen Gebirgstemperatur war, aus denen Geoisothermenkarten erstellt wurden. Das wichtigste Ergebnis war, dass die Flächen gleicher Temperatur parallel zum Streichen des Steinkohlengebirges verlaufen. Die höchsten Temperaturen treten dabei im Bereich des Auguste Victoria-Sattels auf.

Die gleiche Feststellung trifft Voß (8), der im Ruhrrevier für die ursprünglichen Gebirgstemperaturen bei gleicher Teufe Differenzen von bis zu 10°C angibt.

Die Höchstwerte werden nach Voß auf den Sätteln und die Tiefstwerte in Mulden angetroffen.

In Deutschland liegen die höchsten Gebirgstemperaturen an Arbeitsplätzen der Bergleute bei ungefähr 60°C. Diese Werte werden hier sowohl im Steinkohlen- als auch im Kalisalzbergbau bereits ab 1.300 m Teufe erreicht (8).

Im südafrikanischen Goldbergbau treten so hohe Temperaturen – mit der entsprechend höheren geothermischen Tiefenstufe – erst in 3.000 bis 4.000 m Teufe auf. Wesentlich höhere Gebirgstemperaturen treten nur sehr vereinzelt auf, zum Beispiel in Tunnelvortrieben in Japan, wo in der Nähe von Vulkanen Werte von 90°C und mehr gemessen werden (8).

Die Extremwerte nach heutigem Kenntnisstand für geothermische Tiefenstufen weisen zwischen 7 – 10 m/°C im Bereich junger Vulkane wie Santorin, 14,3 m/

°C im Bereich eines tertiären Vulkans, Urach Schwäbische Alb, und 125 m/°C auf einem alten Schild, Kanada oder Südafrika, auf (9).

### **Literatur:**

- (1) Dietz: Ist es möglich, die Gruben-Temperatur vor Ort dauernd unter 28°C zu halten?, Verlag von Wilhelm Knapp, Halle a. S., 1911, S. 4 - 5
- (2) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 645 - 653
- (3) Schulz, W.: Die Bekämpfung hoher Grubentemperaturen (Auszug aus einem am 20.6.1932 im Haus der Technik in Essen gehaltenen Vortrag), Der Bergbau 1933, S. 1 - 5
- (4) Pohl, H.: Die Wetterkühlung, eines der Probleme des Bergbaus in großen Teufen, Kohle und Erz 1939, S. 71 - 76
- (5) Müller, F.: Aus der Arbeit des Ausschusses für Wettertechnik bei der Deutschen Kohlenbergbauleitung, Glückauf 1951, S. 711 - 714
- (6) Hahne, C.; Patteisky, K.: Die geologischen Grundlagen des Grubenklimas im Steinkohlenbergbau, Glückauf 1952, S. 205 - 211
- (7) Benthau, F.: Die Gebirgstemperatur im Grubenfeld der Gewerkschaft Auguste Victoria, Marl, Glückauf 1959, S. 875 - 879
- (8) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 42 - 46
- (9) Wallbrecher, E.: Entwicklung der Litho- und Biosphäre, Erdwissenschaften.uni-graz.at/downloads/lithosphaere, 2004

### **3.3 Selbstverdichtung**

Fallen Wetter in einen seigeren oder geneigten Grubenbau ein, so werden sie komprimiert und erwärmen sich auf Grund der Umwandlung von potentieller Energie in Wärme (1).

Wenn dabei kein Wasser verdunstet, was über die Verdunstungskälte zu einer Abkühlung führen würde, erwärmen sich die Wetter um 1°C je 102 m Teufendifferenz.

In der Regel wird nicht die gesamte Temperaturerhöhung durch Selbstverdichtung spürbar, weil in nassen Schächten ein Teil der Energie zur Wasserverdunstung genutzt wird, wobei die absolute Feuchtigkeit der Wetter ansteigt (1).

In Einziehschächten ist die Selbstverdichtung der Wetter neben der Wärmeaufnahme aus dem Gebirge eine bedeutende Wärmequelle, in Ausziehschächten expandieren die Wetter und kühlen im gleichen Maß – 1°C je 102 m – ab, sofern andere Einflüsse diese Temperaturverringerung nicht überlagern (1).

Unter **Punkt 3.12** wird auf das Zusammenwirken der Wärmefaktoren noch näher eingegangen.

## Literatur:

(1) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 40 - 42

### 3.4 Oxidationswärme

Schon Herbst (1) stellt 1920 fest, dass neben den natürlichen Ursachen für die Temperaturzunahme der Wetter solche hinzutreten, die sich aus der Bergbautätigkeit ergeben.

Da für Oxidationsvorgänge die Anwesenheit von Sauerstoff erforderlich ist, ist die Wetterführung, an sich für die Abkühlung vorgesehen, Ursache für die Oxidationsvorgänge, die exotherm ablaufen. Es muss nicht unbedingt die Oxidation der Kohle selbst sein; häufig gehen die Vorgänge, die bis zur Selbstentzündung gehen können, von anderen Mineralien wie Pyrit aus, die eine hohe Affinität zu Sauerstoff haben (1).

Auch Winkhaus (2) spricht im Jahr 1922 die Wärmeentwicklung auf Grund chemischer Umsetzungsprozesse an, die für die Zeche Radbod als tiefe, warme Grube natürlich auch von Bedeutung war.

Winkhaus erwähnt englische Untersuchungen, nach denen die Oxidation anstehender Kohle zu einer Temperaturerhöhung gegenüber dem anstehenden Gestein um 9°C geführt hat, die sich mittelbar auf die Wettertemperaturen auswirkt.

Winkhaus weist auf die Folgen der Verwendung von Waschbergen als Versatz hin, weil sie mehr oder weniger Anteile von Kohle enthalten und der Pyritgehalt nach der Aufbereitung angereichert ist.

Dieser Hinweis bezieht sich auf die damals übliche Verwendung von Fremdbergen als Versatz, die später im Ruhrbergbau nicht mehr üblich war, weil die Bergewirtschaft bei der Verwendung von Waschbergen als Alternative zur Aufhaldung entlastet wurde (2).

Heise und Drekopf (3) vertiefen im Jahr 1924 die Betrachtung der Oxidation von Kohle und Holz als Wärmequelle.

Die Wetter treten in die Grube mit einem CO<sub>2</sub>-Gehalt von 0,04% ein und verlassen sie im Ruhrrevier mit 0,2 bis 0,3%, unter Umständen mit 0,5 bis 0,6%. Auf den tiefen und heißen Gruben erreicht der CO<sub>2</sub>-Gehalt nur 0,1 bis 0,2%, weil der Wetterbedarf dort entsprechend höher ist.

Bei der Bildung von 1 Liter CO<sub>2</sub> werden 4,3 WE (Wärmeeinheiten) gebildet, die in der Lage sind, 1 m<sup>3</sup> Luft um 14°C zu erwärmen. Wenn die Wetter in Folge der Oxidation von Kohle und Holz 0,25% CO<sub>2</sub> aufnehmen, steigt die Temperatur hierbei um 35°C (3).

Heise und Drekopf werfen die Frage auf, ob der CO<sub>2</sub>-Gehalt in den Ausziehströmen zur Gänze durch Oxidation entstanden ist oder auch aus anderen Quellen stammt.

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt durch die Ausatemluft von Mensch und Tier wird keine große Rolle spielen; außerdem ist ihre Entstehung ebenfalls der gleiche

exotherme Prozess, so dass die Temperaturerhöhung die gleiche ist wie bei den Oxidationsvorgängen von Kohle und Holz.

Ohne Wärmebelastung für die Wetter könnte nur CO<sub>2</sub> übertreten, das im Gebirge oder in Grubenwässern gespeichert war (3).

Über die mögliche Menge ließen sich einmal Aussagen aus dem CO<sub>2</sub>-Gehalt von Bläsern ableiten, der im Ruhrrevier häufig geringer als 1% war, in Ausnahmefällen bis zu 5%, im Vergleich zu dem insgesamt ausströmenden Grubengas also sehr gering.

Andere Untersuchungen gingen davon aus, dass der in der westfälischen Kohle eingeschlossene CO<sub>2</sub>-Gehalt auf bis zu 20% des insgesamt ausströmenden Gasmenge ansteigen könnte (3).

*Beide Betrachtungsweisen lassen den Schluss zu, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt nur einen Bruchteil der Gesamtmenge des aus dem Gebirge strömenden Gases ausmachen würde.*

*Da der CO<sub>2</sub>-Gehalt in den ausziehenden Wetter den Grubengasgehalt (CH<sub>4</sub>) in der Regel übersteigt, leiten Heise und Drekopf ab, dass der überwiegende Anteil an CO<sub>2</sub> nicht bereits im Gebirge vorhanden war, sondern sich erst durch die Oxidation von Kohle und Holz neu gebildet hat.*

*Die CO<sub>2</sub>-Bildung wird jedoch nicht zur Gänze und unmittelbar die Wetter erwärmen.*

*Ein großer Teil der CO<sub>2</sub>-Entstehung wird im Alten Mann ablaufen, wegen der nach dem Abbau dort verbliebenen Feinkohle und der Kohlen- und Pyrit-Anteile, wenn Waschberge als Versatz verwendet wurden. Die bei der Oxidation freiwerdende Wärme wird zum Teil zur Erwärmung des Versatzes verbraucht werden, der überwiegende Teil wird mit einer Zeitverzögerung den Wetter zugeführt werden (3).*

*Insgesamt sind Erwärmungen des Wetterstromes durch Oxidation um 10 bis 20°C, in Extremfällen um 30 bis 40°C, möglich.*

*In vielen Fällen, das wird später durch die Untersuchungen von Jansen auf der Zeche Sachsen bestätigt, wird die Oxidation nach Heise und Drekopf die stärkste Quelle für die Erwärmung der Grubenwetter sein.*

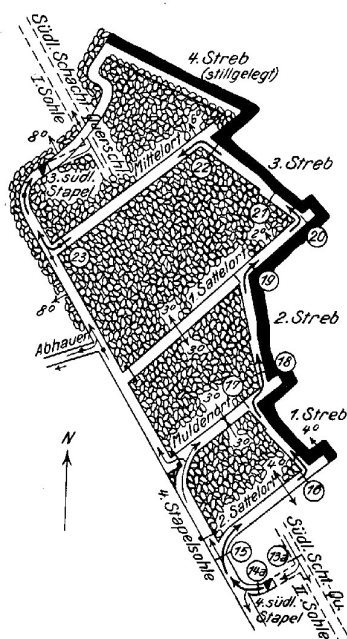
Die Beschäftigung mit der Frage der Oxidation und ihrer Auswirkungen auf das Klima war im Jahr 1924 noch sehr neu; entsprechend lagen noch keine genaueren Erkenntnisse vor (3).

Heise und Drekopf können jedoch schon allgemeine Vorschläge machen, wie die Erwärmung durch CO<sub>2</sub>-Entstehung möglichst gering gehalten werden kann. Dazu zählt die Absaugung und Entfernung des Kohlenstaubs und Vermeidung von Kohle im Alten Mann; Maßnahmen, die vor allem auch zur Vermeidung von Bränden durch Selbstentzündung dienen. Außerdem schlagen Heise und Drekopf vor, anstehende Kohlenstöße, vielleicht durch Torkretieren, zu verkleiden und Strecken statt als Flözstrecken im Gestein aufzufahren, zwei Maßnahmen, die später so, nur um die mögliche Oxidation zu vermeiden, nicht umgesetzt wurden (3).

Jansen geht in seinem Artikel „Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes“ (4) aus dem Jahre 1927, dem die Verhältnisse auf der Zeche Sachsen zugrunde liegen, auch auf die Frage der Auswirkungen der Oxidation ein.

Die Oxidationswärme entsteht hauptsächlich durch die langsame Oxidation der Kohle. Eine Erwärmung durch die Oxidation von Schwefelkies (Pyrit), Wärmeabgabe vom Geleucht und vom menschlichen Körper ist auf der Zeche Sachsen nicht messbar, weil, typisch für eine tiefe und warme Grube, die Wettermengen sehr groß sind. Schwefelkies kommt nur in Spuren vor, und das Geleucht ist bereits elektrisch, gibt also erheblich weniger Wärme ab als ein offenes Geleucht. Die Wärmeabgabe ist bei den Wettermengen viel zu gering, um zu einer messbaren Erhöhung zu führen (4).

Jansen ermittelt die durch Oxidation der Kohle freiwerdende Wärme ebenfalls aus der Zunahme des  $\text{CO}_2$  – Gehaltes der Wetter. Das Ansteigen des  $\text{CO}_2$  – Gehaltes durch Austritt aus dem Gebirge oder aus dem Grubenwasser dürfte für die Zeche Sachsen nicht in Frage kommen, da  $\text{CO}_2$  – Ausströmungen dort nicht beobachtet wurden (4).



**Bild 1, Messabschnitt 3 (1. Abbaurevier, Flöz 10)**

Jansen (5) beschreibt die Entstehung der Oxidationswärme u.a. für das erste Abbaurevier wie folgt (siehe auch **Bild 1** und **Bild 2**): „Der fast gleich große Anteil der Oxydationswärme von  $7,9^\circ$  (Zahlentafel 3,a) erklärt sich wie folgt. Bei der lebhaften Förderung im 4. Stapel (Messstück 13a – 14a), auf der 4. Stapelsohle (14a – 15) und am 2. Sattelort (15 – 16) wird viel Kohle verstreut und oxydiert, wodurch die Temperatur um je  $0,3^\circ$  steigt. In dem anschließenden 50 m langen Rutschenbetrieb (16 – 17) bleibt für die Kohlensäurebild der sehr hohe Rest von  $2^\circ$ . Bei einer mittlern Zunahme des Kohlensäuregehaltes von  $0,01\%$  ergab sich nach den Gasanalysen eine Erwärmung von  $1,4^\circ$ . Die gemäß den Temperaturmessungen um  $0,6^\circ$  höhere Erwärmung hat nach den zahlreichen Versuchen folgenden Grund: Die Kohle,

die bei der Gewinnung zuerst auf einen Haufen geworfen, dann in der Rutsche heruntergefördert und ständig von der kalten Luft bestrichen wird, kühlt sich je nach der Rutschenlänge, der Menge und der Temperatur der Kohle sowie der Wetter um  $3 - 10^\circ\text{C}$  ab und verursacht dadurch die in obigem Beispiel  $0,6^\circ$  betragende Erwärmung. Die hohe Zunahme des  $\text{CO}_2$  – Gehaltes um  $0,01\%$  erklärt sich durch Oxydation der im Versatz zurückgebliebenen Kohle und der vielen Feinkohle, die während der Gewinnung, des Ladens und Förderns verstreut wird.

Die untertage in einem abgeworfenen Querschlag und übertage in einem Kanal während der Kohlenförderung mit einer 42 m langen Rutsche angestellten Versuchsmessungen ergaben, besonders dort, wo viel Feinkohle verstreut war, z.B. an den Füllstellen, eine sprunghafte Zunahme des  $\text{CO}_2$  - Gehaltes bis zu  $0,15\%$  bei einer Wettermenge von  $0,5\text{m}^3/\text{sek}$  und bewiesen einerseits die starke  $\text{CO}_2$  – Entwicklung bei der Rutschenförderung, im besonderen durch verstreute

Feinkohle, andererseits das Steigen der Temperaturerhöhung durch Oxydationswärme mit abnehmender Wettermenge. Im obigen Beispiel wird die Feinkohlenmenge noch dadurch erhöht, dass die Förderrutsche des Strebens in eine im Muldenort liegende Förderrutsche schüttet und dabei an der Übergangsstelle viel Kohle verstreut.

Berechnung des Anteils der Gebirgs-, Verdichtungs- und Oxydationswärme an der eigentlichen Gesamtwettererwärmung in den Abbaurevieren.

Meßstück (Tafel 1)	Bezeichnung des Meßstücks	$((t_1 - t_0) \cdot \lambda \cdot U \cdot L) : (1080 \cdot V) =$					Anteil der			an der eigentlichen Gesamtwetter- erwärmung °C	
		°C		m	m	m <sup>3</sup> /sek	Gebirgs- wärme °C	Verdichtungs- wärme °C	Oxydations- wärme °C		
a) 1. Abbaurevier, Flöz 10, 510 m (Meßabschnitt 3).											
13a-14a	4. südlicher Stapel . . .	13,0	1,10	11,5	50	1080	23,0	0,3	- 0,4	0,3	0,2
14a-15	4. Stapelsohle . . .	16,0	0,90	11,0	40	1080	7,0	0,8	—	0,3	1,1
15-16	2. Sattelort . . .	17,0	0,93	9,0	60	1080	6,0	1,3	—	0,3	1,6
16-17	1. Rutschenstreb . . .	21,0	0,94	7,8	50	1080	6,0	1,2	—	2,0	3,2
17-18	Muldenort . . .	18,0	0,92	7,1	25	1080	6,0	0,5	—	0,8	1,3
18-19	2. Rutschenstreb . . .	19,0	0,94	7,8	60	1080	6,0	1,3	- 0,1	1,5	2,7
19-20	1. Sattelort . . .	15,0	0,92	8,0	50	1080	6,0	0,8	—	0,6	1,4
20-22	3. Rutschenstreb . . .	16,0	0,94	7,0	75	1080	6,1	1,2	—	1,6	2,8
22-23	Mittelort . . .	9,0	1,00	6,8	100	1080	6,0	0,9	—	0,5	1,4
13a-23	1. Abbaurevier, Flöz 10				510		8,3	0,5	7,9	15,7	53 % 3 % 50 % 100 %
b) 2. Abbaurevier, Flöz 12, 490 m (Meßabschnitt 6).											
15 <sub>1</sub> -16 <sub>1</sub>	Sohlenstrecke, Flöz 12	16,0	1,10	9,6	50	1080	11,0	0,7	—	0,3	1,0
16 <sub>1</sub> -17 <sub>1</sub>		17,0	1,10	9,6	50	1080	11,0	0,8	—	0,3	1,1
17 <sub>1</sub> -18 <sub>1</sub>		19,0	1,10	10,0	50	1080	11,3	0,9	(Abwetter + 0,2)	0,5	1,6
18 <sub>1</sub> -19 <sub>1</sub>	1. Rutschenstreb . . .	23,0	1,05	8,0	50	1080	11,5	0,8	—	1,2	2,0
19 <sub>1</sub> -20 <sub>1</sub>		21,0	1,05	8,0	50	1080	11,5	0,7	- 0,1	1,1	1,7
20 <sub>1</sub> -21 <sub>1</sub>	1. Stapelsohle . . .	20,0	1,05	8,0	50	1080	11,5	0,7	—	0,8	1,5
21 <sub>1</sub> -22 <sub>1</sub>		12,0	1,10	7,0	50	1080	12,0	0,4	(Kurzschluß - 0,2)	0,2	0,4
22 <sub>1</sub> -23 <sub>1</sub>	2. Rutschenstreb . . .	14,0	1,10	7,0	30	1080	12,0	0,3	—	0,4	0,7
23 <sub>1</sub> -24 <sub>1</sub>		17,0	1,05	7,0	85	1080	12,0	0,8	- 0,1	1,5	2,2
25 <sub>1</sub> -26 <sub>1</sub>	3. Stapelsohle . . .	10,0	1,05	6,5	25	1080	12,2	0,1	—	0,2	0,3
15 <sub>1</sub> -26 <sub>1</sub>	2. Abbaurevier, Flöz 12				490		6,2	0,2	6,5	12,5	50 % 2 % 52 % 100 %
c) 3. Abbaurevier, Flöz 8, 450 m (Meßabschnitt 8).											
16 <sub>2</sub> -17 <sub>2</sub>	1. nördlicher Stapel . . .	16,0	1,00	11,5	25	1080	16,0	0,3	- 0,2	0,2	0,3
17 <sub>2</sub> -18 <sub>2</sub>	1. Stapelsohle . . .	16,0	0,90	10,0	50	1080	8,0	0,8	—	0,6	1,4
18 <sub>2</sub> -19 <sub>2</sub>	1. südliches Aufhauen	18,0	0,90	7,8	20	1080	6,0	0,4	—	0,4	0,8
19 <sub>2</sub> -20 <sub>2</sub>	1. Abbaustöß . . .	18,0	0,70	8,0	30	1080	4,0	0,8	—	1,1	1,9
20 <sub>2</sub> -21 <sub>2</sub>	2. " . . .	17,0	0,70	8,0	35	1080	4,0	0,9	—	1,2	2,1
21 <sub>2</sub> -22 <sub>2</sub>	3. " . . .	16,0	0,70	8,0	30	1080	4,3	0,7	—	1,1	1,8
22 <sub>2</sub> -23 <sub>2</sub>	4. " . . .	15,0	0,70	8,0	35	1080	4,5	0,6	—	1,0	1,6
23 <sub>2</sub> -24 <sub>2</sub>	5. " . . .	13,0	0,60	7,5	25	1080	6,1	0,2	—	1,0	1,2
24 <sub>2</sub> -25 <sub>2</sub>	Diagonalberg . . .	12,0	0,58	7,5	50	1080	6,2	0,4	- 0,1	0,9	1,2
25 <sub>2</sub> -26 <sub>2</sub>		12,0	0,58	7,5	50	1080	6,1	0,4	- 0,1	1,0	1,3
26 <sub>2</sub> -27 <sub>2</sub>	Teilstrecke . . .	11,0	0,58	10,0	50	1080	6,3	0,5	—	0,7	1,2
27 <sub>2</sub> -28 <sub>2</sub>		10,0	0,70	10,0	50	1080	6,3	0,5	—	0,4	0,9
16 <sub>2</sub> -28 <sub>2</sub>	3. Abbaurevier, Flöz 8				450		6,5	0,4	9,6	15,7	41 % 3 % 62 % 100 %
d) 3. Abbaurevier, Flöz 8, 475 m (Meßabschnitt 9).											
29 <sub>2</sub> -30 <sub>2</sub>	Wetterberg . . .	14,0	0,60	6,5	50	1080	5,0	0,6	- 0,1	0,7	1,2
30 <sub>2</sub> -31 <sub>2</sub>		14,5	0,58	6,2	50	1080	5,0	0,6	—	0,8	1,4
31 <sub>2</sub> -32 <sub>2</sub>	Wetterstrecke und Aufhauen . . .	14,0	0,60	6,8	125	1080	5,0	1,2	—	1,3	2,4
32 <sub>2</sub> -33 <sub>2</sub>		Berg . . .	10,0	0,60	6,7	50	1080	5,0	0,4	- 0,1	0,6
33 <sub>2</sub> -34 <sub>2</sub>	Mittelort . . .	11,0	0,65	10,0	50	1080	6,0	0,5	—	0,5	0,6
34 <sub>2</sub> -35 <sub>2</sub>	Transportberg . . .	13,0	0,80	8,0	100	1080	8,0	0,9	- 0,1	2,0	3,2
35 <sub>2</sub> -36 <sub>2</sub>	1. Sattelstapel . . .	9,0	0,80	8,0	50	1080	8,0	0,4	—	1,0	1,0
29 <sub>2</sub> -36 <sub>2</sub>	4. Abbaurevier, Flöz 8				475		4,6	0,3	6,9	11,2	41 % 3 % 62 % 100 %

Bild 2, Zahlentafel 3, Berechnung des Anteils der Gebirgs-, Verdichtungs- und Oxydationswärme an der eigentlichen Gesamtwettererwärmung in den Abbaurevieren

Durch die Kohlenverluste aus der Förderrutsche wird auch die starke Erwärmung von 0,8° durch Oxydation im Muldenort (17 – 18) verursacht.

Die Kohlensäurebildung im 2. und 3. Streb (rd.  $1,5^\circ$ ) ist geringer als in dem 1., da die Füllstellen, an denen die meisten Kohlen verstreut werden, nicht in diesen Messstücken 18 – 19 und 20 – 22 liegen.

In dem 100 m langen Mittelort (22 – 23) ist die Kohlensäureentwicklung geringer als im Muldenort, weil hier die Kohlen aus der Rutsche unmittelbar in den Wagen und nicht erst in eine Förderrutsche gefüllt werden.

Im ganzen betrachtet ist die  $\text{CO}_2$  – Bildung im 1. Abbaurevier ganz erheblich größer als in den bisher besprochenen Einziehwegen, weil in ihm mehr Feinkohle, besonders aus den Rutschen, verstreut wird und die Wettermenge geringer ist; infolgedessen wurde in ihm nach den Gasanalysen eine  $\text{CO}_2$  – Zunahme von 0,045% oder eine Erwärmung von  $4,5 \times 1,4 = 6,3^\circ$  festgestellt. Der Unterschied von  $7,0 - 6,3 = 1,6^\circ$  gegenüber der durch Berechnung gefundenen Temperaturerhöhung erklärt sich aus der bereits erwähnten Wärmeabgabe der gewonnenen Kohle.“

Als Resümee für seine Untersuchungen auf der Zeche Sachsen bemerkt Jansen (5) zur Frage der Oxidationswärme, dass sie um so stärker ist je mehr Kohle verstreut wird, z.B. in Kurven, Wechseln und Rutschen, je länger und inniger die Wetter mit der Kohle in Berührung sind, z.B. auf der Rutsche, je undichter der Bergeversatz und je höher die Wettertemperatur ist. Die Oxidationswärme stellt den stärksten erwärmenden Faktor dar.

Das Ergebnis der Untersuchungen Jansens und damit auch die Darstellung des Zusammenwirkens der erwärmenden Faktoren wird unter Punkt 3.12 noch näher dargestellt.

Hier sei schon erwähnt, dass die Oxidationswärme auf der Zeche Sachsen nach Jansen eine Temperaturerhöhung von fast  $12^\circ\text{C}$  bewirkte (5).

Davon entfielen  $4,1^\circ\text{C}$  auf den Einziehweg; diesen Faktor hätte man fast vollständig vermeiden können, wenn durch den Einziehweg keine Kohle gefördert worden wäre.

Der Einfluss im Abbau wäre kaum zu vermeiden gewesen (5).

Auch Schulz (6) kommt im Jahr 1933 zu den gleichen Ergebnissen wie Jansen und stützt sich weitgehend auf die Untersuchungen auf der Zeche Sachsen. Er erwähnt besonders die Oxidation von Schwefelkies, vor allem Markasit, die bereits bei niedrigeren Temperaturen als die Oxidation der Kohle abläuft und mehr Wärme entwickelt.

Kohle mit hoher Bergfeuchtigkeit oxidiert nach Schulz schneller, wahrscheinlich wegen der katalytischen Wirkung des Wasserdampfes (Wasserstoffsuperoxidbildung).

Starke Zerklüftung der Kohle durch Schlechten und Drucklagen erhöht ebenfalls die Neigung zur Oxidation.

Das hereingewonnene Haufwerk trägt ebenfalls zur Erwärmung der Wetter bei. Das Haufwerk fällt mit einer Temperatur von z. B.  $40$  bis  $45^\circ\text{C}$  an und gibt, weil es mehr oder weniger feinkörnig ist, die Wärme schnell an den Wetterstrom ab. Die Feinkohle erwärmt sich gleichzeitig durch die Oxidation der Kohle um  $10$  bis  $20^\circ\text{C}$ , wovon sie einen großen Teil bis zum Erreichen der Hängebank wieder an die Wetter abgeben hat (6).



## **Literatur:**

- (1) Herbst, F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 409 - 417
- (2) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 677 - 683
- (3) Heise, F. und K. Drekopf: Die Bildung der Grubentemperaturen und die Möglichkeiten der Beeinflussung, Glückauf 1924, S. 583 - 590
- (4) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.1 - 12
- (5) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.51 - 58
- (6) Schulz, W.: Die Bekämpfung hoher Grubentemperaturen (Auszug aus einem am 20.6.1932 im Haus der Technik in Essen gehaltenen Vortrag), Der Bergbau 1933, S. 1 - 5

## **Bilder:**

**Bild 1** Messabschnitt 3 (1. Abbaurevier, Flöz 10), Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 51

**Bild 2** Zahlentafel 3, Berechnung des Anteils der Gebirgs-, Verdichtungs- und Oxydationswärme an der eigentlichen Gesamtwettererwärmung in den Abbaurevieren, Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 53

## **3.5 Feuchtigkeitsgehalte**

*Unter **Punkt 2.** wurden die für die Feuchtigkeit wichtigen physikalischen Grundlagen bereits dargestellt.*

*Im wesentlichen ausgehend von der Änderung des Allgemeinen Berggesetzes im 1905 wurde die Beschäftigung mit der Feuchtigkeit in den Gruben intensiviert.*

*Voraussetzung für die Entwicklung von Strategien gegen die Feuchtigkeit in den Wettern, und den damit verbundenen negativen Auswirkungen auf das Grubenklima, war die grundsätzliche Kenntnis über das Zusammenwirken von Temperatur und Feuchtigkeit.*

*Der dritte wesentliche Parameter auf das Grubenklima, die Wettergeschwindigkeit, soll nur so weit berücksichtigt werden wie es an dieser Stelle erforderlich ist ( siehe dazu auch die **Punkte 3.7 und 7.1.1.1**).*

*Ein Auslöser für die Beschäftigung mit der Feuchtigkeit als Einflussparameter war die Vorlage des Gesetzentwurfes durch die preußische Regierung im Jahre 1905, der, in Abänderung des Allgemeinen Berggesetzes von 1865/ 1892, unter anderem die Frage der Arbeitszeit an warmen Betriebspunkten regeln sollte, allgemein bekannt geworden durch den Begriff des sanitären Maximalarbeitstages.*

*Heise und Herbst setzen sich in ihrem Artikel „Zur Frage der Begründung eines sanitären Maximalarbeitstages für Bergwerke“ (I) kritisch mit dem Inhalt des Gesetzentwurfes auseinander und gehen dabei auch auf die Frage der Feuchtigkeit der Wetter ein. Sie entwickeln dabei die wesentlichen Zusammenhänge der Feuchtigkeitsgehalte der Wetter, zu denen es bis Anfang des 20. Jahrhunderts nur sehr wenige Grundlagen gab.*

Der Gesetzentwurf geht von „warmen Gruben mit einer Luft von hohem Feuchtigkeitsgehalt“ aus, das heißt es wird unterstellt, dass alle Steinkohlengruben hohe Feuchtigkeitsgehalte aufweisen. Dieses allgemeine Vorurteil stammte einerseits daher, dass häufig die Feuchtigkeit des Ausziehstromes und nicht des Wetterstromes vor den Abbaubetriebspunkten gemessen wurde, und andererseits aus der Tatsache, dass eine relative Feuchte von 80% als hoch angesehen wurde, obwohl dieser Wert dem Durchschnitt unserer atmosphärischen Luft entspricht (I).

Heise und Herbst stellen dar, dass – zunächst als theoretischer Ansatz – die relativen Feuchtigkeitsgehalte, bei gleichbleibender absoluter Feuchtigkeit, mit den Schwankungen der Wettertemperatur auf ihrem Weg durch die Grubenbaue ebenfalls starken Schwankungen unterworfen sind. Durchschnittlich werden die Wetter mit einer Temperatur von 9°C angesaugt und erwärmen sich im Schacht, den Querschlägen und Frischwetterstrecken durch Selbstverdichtung (die von den Autoren als Phänomen im Schacht noch nicht erwähnt wird) und Wärmeübergang aus dem Gebirge; zusätzlich unterstützt die Bildung von Teilströmen und damit die Verringerung der Wettergeschwindigkeit die Wärmeaufnahme. Der stärkste Temperaturanstieg erfolgte in den Abbauen (I), einmal durch die Freilegung des Flözes, das durch die darin gespeicherte Gebirgswärme die vorbeistreichenden Wetter erwärmte, aber auch durch die freigelegte Oberfläche des Haufwerks.

Wie bereits erwähnt, beträgt die durchschnittliche relative Feuchte in Deutschland 80%; mit diesem Wert treten die Wetter in den Einziehschacht ein.

Durch die Erwärmung wird die relative Feuchte sinken. Hier gibt es jedoch zwei gegenläufige Effekte: auf dem Weg in die Baue nehmen die Wetter mehr oder weniger Wasser auf, dagegen wird das Wasseraufnahmevermögen mit steigender Temperatur größer, damit tendenziell der Sättigungsgrad mit steigender Temperatur geringer (I).

*Ob die relative Feuchte ansteigt oder geringer wird, ist also davon abhängig, welcher der beiden Effekte größer ist. Das Ansteigen der relativen Feuchte trotz steigender Temperaturen ist in nassen Gruben der Fall, damals besonders in den sogenannten Berieselungsgruben, in denen der Kohlenstaub durch Berieselung gebunden wurde. Die relative Feuchte wird dann bis zu 100% betragen.*

Es gab aber nach Heise und Herbst auch zur damaligen Zeit Gruben, in denen nicht so große Wassermengen anstanden. Unter diesen Umständen gehen die Sättigungsgrade der Wetter mit steigenden Temperaturen zurück, so dass vor allem im Abbau die relative Feuchte geringer ist als über Tage und die Wetter trocknend wirken, ein positiver Effekt auf das Grubenholz, das weniger von Pilzen, Schimmel und Fäulnis befallen wird.

Auf den Menschen wirken die Wetter mit geringerem Feuchtigkeitsgehalt trotz der höheren Temperaturen kühlend, da der austretende Schweiß verdunstet und damit Kälte produziert (1).

Wenn die Wetter auf die Wettersohle und in den Ausziehschacht ziehen, werden sie wegen der sinkenden Temperaturen voll gesättigt an Wasser sein und den Taupunkt erreichen. In den Ausziehschächten beginnen die Wetter zu regnen; das Grubenholz wird von Pilzen, Schimmel und Fäulnis befallen. Der Mensch fühlt sich, obwohl die Temperaturen bereits niedriger sind, unbehaglich; allerdings waren und sind in den Abwetterwegen fast keine Arbeitsplätze (1).

Idealisiert wird der Sättigungsgrad der Wetter unter den geschilderten Bedingungen, das heißt ohne übermäßig große zusätzliche Wasseraufnahme unter Tage, von 80% auf 65 bis 70% sinken und im Ausziehschacht auf 100% steigen, das heißt, die Sättigungskurve läuft umgekehrt proportional zur Temperaturkurve.

Die bisherigen Ausführungen basierten auf den theoretischen Ansätzen von Heise und Herbst.

Die Aussagen ließen sich jedoch durch Messungen bestätigen.

Bereits 1888 berichtet Nasse (2) über Messungen, die seit 1882 im Saarland und im Ruhrgebiet durchgeführt worden waren. Diese Messungen konnten naturgemäß noch nicht auf den tiefen Gruben im östlichen Ruhrgebiet erfolgen; die Teufen reichten aber schon bis nahe 500 m.

Die Aussagen sind natürlich von grundsätzlicher Bedeutung, so dass sie hier herangezogen werden sollen:

Während die Temperaturen in den Füllrörtern der Einziehschächte jahreszeitlich schwanken, bleibt die Temperatur des Ausziehstromes auf der Wettersohle das ganze Jahr über in etwa konstant.

Die Wettertemperaturen im Füllort des Einziehschachtes liegen immer unter denen auf der Wettersohle.

Die Wetter reichern sich bis zur Wettersohle auf Sättigungsgrade zwischen 90% und 100% an (2).

Daraus folgt, dass mit steigenden Sättigungsgraden und Temperaturen der absolute Feuchtigkeitsgehalt auf dem Weg durch die Baue ansteigen muss.

Nasse (2) leitet aus den Messungen folgende Erkenntnisse bezüglich der Feuchtigkeitsentwicklung ab:

Die vollständige Sättigung der Wetter wird bis zum Füllort nicht immer erreicht, und zwar umso weniger je trockener der Schacht und je trockener und kälter die Außentemperatur ist, wodurch der absolute Feuchtigkeitsgehalt eben

auch entsprechend geringer ist. Kühle Ansaugluft hat eine höhere Wasseraufnahmefähigkeit, weil in ihr der absolute Feuchtigkeitsgehalt zunächst niedriger ist. Bei Erwärmung der Luft ergibt sich daraus eine geringere relative Feuchte.

In den meisten Fällen liegt der Feuchtigkeitsgehalt der Abwetter auf der Wettersohle deutlich über 90%.

Es ist bemerkenswert, dass auf den Bergwerken, die relativ geringe Sättigungsgrade aufwiesen, in den 1880er Jahren (Kohlenstaub-) Explosionen in den betrachteten Bereichen der Grubenfelder stattgefunden hatten (2).

Auf dem Weg durch die Baue vermehrte sich in allen Fällen der absolute Wassergehalt der Wetter. Nasse führt an dieser Stelle noch aus, dass der Kohlenstaub zunächst den gleichen Feuchtigkeitsgehalt hat wie die anstehende Kohle, aus der er stammt. Im Ruhrbecken liegt der Wassergehalt der anstehenden Kohle zwischen 0,9 und 3,4%. Liegt der Wassergehalt des abgelagerten Kohlenstaubes höher, so stammt die zusätzliche Feuchtigkeit nach Nasse nicht aus den Wettern sondern aus der Feuchtigkeit des Gesteins.

Mit Hilfe der „Haarröhrchen-Attraktion“, heutiger Terminus Kapillarwirkung, saugt der Kohlenstaub Wasser aus dem Gebirge auf, auf dem er abgelagert ist. Bei Gruben in geringer Teufe mit zu Tage ausgehenden Flözen ist das Wasserangebot entsprechend groß, so dass das Problem der Kohlenstaubexplosionen erst in den tieferen Gruben mit geringerer Feuchtigkeit auftrat (2).

*Bei niedrigen Außentemperaturen können die Wetter auf ihrem Weg durch die Grube mehr Wasser aufnehmen als bei hohen Außentemperaturen; durch das höhere Wasseraufnahmevermögen kühlerer Ansaugluft wirken die Wetter trocknend unter anderem auf den Kohlenstaub in den Einziehstrecken. Die Ursache für die trocknende Wirkung liegt in dem geringeren Vermögen kalter Luft, Wasser aufzunehmen. Dadurch ist der absolute Feuchtigkeitsgehalt entsprechend gering. Erwärmt sich die Luft unter Tage, nimmt das Vermögen der Wasseraufnahme zu, was zu einer Verminderung der relativen Feuchte führt.*

*Damit haben die Wetter das Bestreben, weiteres Wasser aufzunehmen. Da sie dazu auch im Kohlenstaub gebundenes Wasser verwenden, trocknet der Kohlenstaub.*

*Um die Gefahr von Kohlenstaubexplosionen zu verringern, wurde der Kohlenstaub angefeuchtet.*

Zum Beispiel auf der Zeche Neu-Iserlohn in Langendreer wurden deshalb die Grundstrecken mit Hilfe von Wasserwagen, die an die Wagenzüge angehängt wurden, angefeuchtet, der an den Stößen abgesetzte Kohlenstaub mit Hilfe einer durch den Wasserwagen angetriebenen Pumpe ab gespült (2).

*Der Gefahr von Kohlenstaubexplosionen wurde damit zwar begegnet, für die Klimabeherrschung war diese Wassermenge jedoch kontraproduktiv.*

Winkhaus hat bei seinen Untersuchungen auf der Zeche Radbod im Jahr 1921 (3,4) drei Bereiche ausgemacht, in denen der absolute Wassergehalt der Wetter

(in g/m<sup>3</sup>) besonders stark wächst. Winkhaus erkannte, dass im Schacht, in den Nebenwetterwegen und im Abbau von den Wettern große Wassermengen aufgenommen werden.

*Bis Anfang der 1920er Jahre wurde den Feuchtigkeitsgehalten der Wetter, abgesehen von den wenigen Ausarbeitungen, noch relativ wenig Aufmerksamkeit geschenkt.*

*Über die Klimabelastung des Menschen lagen ebenfalls noch wenige Erkenntnisse vor, vor allem war noch keine Quantifizierung der Klimawerte möglich.*

Heise und Herbst (1) zitieren dazu aus dem oben erwähnten Gesetzentwurf von 1905: „Es kann aber keinem Zweifel unterliegen, wenn es auch statistisch kaum nachweisbar ist, dass die Körperkräfte eines Steinkohlenbergmannes in warmen Gruben mit einer Luft von hohem Feuchtigkeitsgehalt sich bei gleicher Arbeitszeit schneller abnutzen als in kühlen Gruben, und dass der Arbeiter infolgedessen auch der Gefahr einer Erkrankung und vielleicht auch der Gefahr zu verunglücken leichter ausgesetzt ist.... Aber die Wärme allein ist nicht maßgebend. Wir erkennen vollständig an, dass wir auch mit der Wärmegrenze allein nicht zu richtigen regelmäßigen Erscheinungen werden können. Die Nässe der Gruben, die Feuchtigkeit der Luft in den Gruben, die Bewegung der Luft in den Gruben sind wesentliche Faktoren, die mitwirken. Es wäre aber unmöglich gewesen, aus all diesen Faktoren, die tatsächlich hygienisch einwirken, eine Formel zu finden, die wir gesetzlich festlegen können.“

Die Beherrschung der Klimaverhältnisse war natürlich für die in den damaligen Jahrzehnten abgeteuften tiefen Gruben im östlichen Ruhrrevier von besonderer, in gewisser Weise existentieller, Bedeutung.

Es erscheint deshalb logisch, dass auf den tiefen Gruben des östlichen Ruhrgebiets große Anstrengungen unternommen wurden, um die Klimaproblematik erstens zu verstehen und im weiteren zu beherrschen.

Winkhaus führte im Rahmen seiner grundlegenden Untersuchungen auf der Zeche Radbod im Jahr 1922 den Begriff des „Nasswärmegrades“ ein, um den Zustand der Wetter mit den Einflussparametern Wärme und Feuchtigkeitsgehalt zu beschreiben (5). Er geht dabei von der Wirkung der Wetter auf den Menschen aus.

Nach Winkhaus hat der Einfluss der Feuchtigkeit, als dem weiteren wichtigen Parameter neben der Temperatur, bis Anfang der 1920er Jahre nicht die ihm entsprechende Würdigung erfahren. Das galt besonders auch für die Beschreibung von Klimagrenzen in der Gesetzgebung, die sich nur an der Trockentemperatur orientierte.

Um den Effekt der unterschiedlichen Feuchtigkeitswerte für den Menschen zu verdeutlichen, zeigt Winkhaus (5) auf, wie die Kühlung des menschlichen Körpers erfolgen kann.

Neben der unmittelbaren Wärmeüberleitung vom Körper in die Wetter und der Wärmestrahlung, die aber bei hohen Gesteinstemperaturen bzw. warmen Grubenwettern nicht oder nur eingeschränkt möglich sind, kann dem menschlichen Körper Wärme durch Verdunstung des Schweißes entzogen werden.

Der arbeitende Bergmann kann in einer Schicht mehrere Liter Schweiß entwickeln.

Die Verdunstung und damit Kühlung des Körpers funktioniert natürlich nur dann, wenn die Wetter trocken genug sind, um zusätzliche Feuchtigkeit aufzunehmen.

Sind die Wetter bereits vollständig gesättigt, wird sich die Körpertemperatur trotz der Schweißentwicklung langsam erhöhen.

Sind die Wetter trocken genug, kann der Kühlungseffekt kontinuierlich erfolgen, wenn die Wetterbewegung groß genug ist, um die Wetter mit dem erhöhten Feuchtigkeitsgehalt abzuleiten.

Andererseits werden die Wetter bei der gewählten Hypothese wegen der höheren Temperatur die Haut erwärmen, gegenläufig zu der Abkühlung durch Verdunstung.

Die Hauttemperatur wird sich einer Temperatur nähern, die zwischen dem Taupunkt des Schweißes und der Wettertemperatur liegt.

Diese Temperatur ist mit dem feuchten Element des Psychrometers zu messen und wird von Winkhaus (5) als „Nasswärmegrad“ bezeichnet.

Der Nasswärmegrad gibt die Temperatur an, bis zu der ein Wetterstrom mit bestimmter Temperatur und bestimmtem Feuchtigkeitsgehalt eine feuchte Oberfläche durch Verdunstung abkühlt.

Die Hautwärme wird dann zwischen der Körpertemperatur und dem Nasswärmegrad liegen, dem sie sich um so mehr nähert, je heftiger der Wetterzug und damit die Verdunstung ist (5).

In den Berieselungsgruben war der Effekt beobachtet worden, dass die Trockentemperatur durch die Verdunstung des Wassers sank.

Die Verdunstungskälte wurde Anfang des 20. Jahrhunderts durchaus gezielt angewendet, um die bergpolizeilichen Vorgaben zur Schichtzeitbegrenzung, konkret die Grenze von 28°C Trockentemperatur, einzuhalten (3).

Winkhaus erkannte bereits, dass die Absenkung der Trockentemperatur durch Verdunstung ein trügerischer Erfolg ist (3). Letztlich wird sie durch die Verringerung der Kühlwirkung der Wetter, beschrieben durch den Nasswärmegrad, erkaufte. Die Zusammenhänge werden in **Bild 1** deutlich, in der Messergebnisse auf der Zeche Radbod aus den Monaten August und September 1921 verarbeitet wurden.

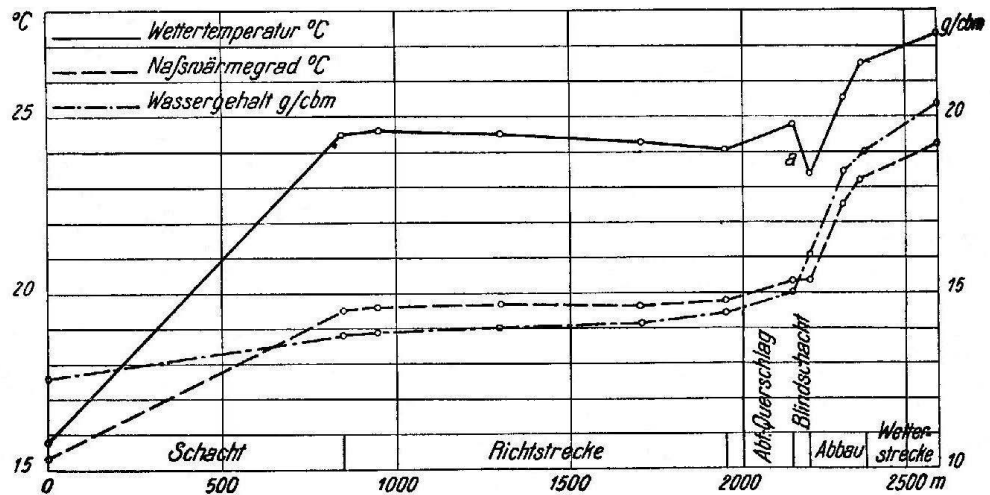


Bild 1: Wettertemperatur, Nasswärmegrad und Wassergehalt in einem kühlen Revier

Die Trockentemperatur steigt zunächst durch die bekannten Einflüsse im Schacht an und sinkt leicht entlang der Richtstrecke durch den Einfluss des Wärmeausgleichsmantels, siehe auch **Punkt 7.1.2.1**.

Im Abteilungsquerschlag kommt es zu einer leichten Temperaturerhöhung. Im Blindschacht kühlen sich die Wetter durch die Verdunstung von Wasser ab, im Diagramm gekennzeichnet durch den Buchstaben „a“.

Die Wetter gehen hier durch einen feuchten Blindschacht und nehmen 0,85 g je m<sup>3</sup> Wetter auf. Der gemessene Temperaturrückgang von 1,5°C stimmt auffallend mit dem theoretischen Wert von 1,65°C überein. Daraus lässt sich schließen, dass unter der Bedingung, dass das Wasser frei im Schacht herabrieseln kann, die Verdunstungskälte zum weitaus größten Teil unmittelbar in Temperaturverringerung umgesetzt wird, anders als in Fällen, in denen das sich Wasser in dünnen Schichten an den Stößen und auf der Sohle befindet (**3**).

Durch die Wasseraufnahme steigen der Wassergehalt der Wetter und dadurch der Nasswärmegrad erheblich an. Das bedeutet, dass trotz des Absenkens der Trockentemperatur, oder Wettertemperatur, die Kühlwirkung der Wetter, die durch den Nasswärmegrad ausgedrückt wird, geringer geworden ist (**3**).

Durch die größere Temperaturdifferenz, die aus der Wärme der anstehenden Kohle und des freigelegten Haufwerks mit seiner großen Oberfläche stammt, nimmt die Wettertemperatur im Abbau dann sehr rasch zu, mit der weiteren Wasseraufnahme auch der Nasswärmegrad.

Insgesamt verschlechtern sich die Arbeitsbedingungen viel stärker als wenn die Abkühlung der Wetter im Blindschacht nicht stattgefunden hätte.

Winkhaus (**3**) folgert aus den Ergebnissen seiner Messungen und Untersuchungen, dass jede künstliche Kühlung, die Wasser in unmittelbarem Kontakt mit den Wettern bringt, unwirtschaftlich ist, denn je größer der Feuchtigkeitsgehalt der Wetter ist, um so höher wird der Nasswärmegrad, und um so geringer wird die Kühlfähigkeit der Wetter.

Wie bereits erwähnt, wurden von Winkhaus die Einziehschächte, die Nebenwetterwege und die Abbaue als die Bereiche identifiziert, in denen die Wasseraufnahme der Wetter besonders groß war.

Aus der Erhöhung des Nasswärmegrades durch die steigenden Feuchtigkeitsgehalte resultiert die Forderung, die Wasseraufnahme nach Möglichkeit zu verringern, zum Beispiel dadurch, dass im Einziehschacht das aus der Schachtwandung austretende Wasser in Tropfrinnen aufgefangen und in geschlossenen Rohrleitungen abgeführt wird.

In den Wetterstrecken sind die Wasserseigen nach Möglichkeit abzudecken. Im Abbau ist die Feuchtigkeitsaufnahme zwar nicht zu verhindern, sie sollte aber auf eine möglichst große Wettermenge verteilt werden.

Grenzen waren dort gegeben, wo die Wetter auf Grund geringer Feuchtigkeit die Bildung von explosionsfähigem Kohlenstaub ermöglichten.

Die Forderung des Explosionsschutzes hatte natürlich Vorrang. Es wurde jedoch in diesen Jahren das Gesteinstaubverfahren zur Bindung des Kohlenstaubs eingeführt, das in den tiefen Gruben sowohl die Forderungen nach der Trockenhaltung der Wetter als auch nach der Bindung des Kohlenstaubs erfüllte und damit für den Einsatz dort sehr geeignet war (3).

*Aufbauend und ergänzend zu den Arbeiten von Winkhaus stellte Jansen in den 1920er Jahren Messungen und Untersuchungen auf der Zeche Sachsen an, die auf Grund ihrer Teufenlage vergleichbare Verhältnisse mit der Zeche Radbod aufwies; das heißt, die Beherrschung der großen Teufe war auch für die Zeche Sachsen von existentieller Bedeutung. In seinen Veröffentlichungen im Jahr 1927 (6,7,8) fasste Jansen die Grundlage für seine Arbeiten wie folgt zusammen:*

„Als vor etwa zwei Jahrzehnten der deutsche Steinkohlenbergbau in Teufen mit ungewohnt hohen Temperaturgraden vordrang, wurde im Jahre 1905 durch den eingefügten § 93 c ABG für die Betriebspunkte mit mehr als 28°C eine Verkürzung der Schicht auf sechs Stunden vorgeschrieben. Dadurch sollten Überanstrengungen und Gesundheitsschädigungen der Arbeiter infolge zu langer Beschäftigung in hohen Temperaturen auf jeden Fall verhütet werden. Der Gesetzgeber beschränkte sich mangels geeigneter Verfahren zur Bestimmung der Kühlwirkung eines Wetterstromes auf die Festlegung einer leicht mit dem Thermometer zu ermittelnden Temperaturgrenze, obgleich damals schon bekannt war, dass Wohlbefinden und Arbeitsfähigkeit des Menschen nicht allein von dem Wärmegrad, sondern auch von der Feuchtigkeit und der Bewegung der Luft abhängen. Seitdem haben mit der Teufe und der Zahl der tiefen Gruben die durch das Gesetz vorgeschriebenen Kurzschichten erheblich zugenommen Auf den tiefsten Zechen des Ruhrbezirks, wie z.B. der Zeche Sachsen bei Hamm, deren Verhältnisse den nachstehenden Ausführungen zugrunde liegen, arbeitete früher im Sommer, wenn die Luft bereits warm in die Grube eintritt, sogar der größte Teil der Belegschaft in verkürzter Schicht, was einen Leistungsabfall bis zu 20% bedingte. Dieser ist nur zu vermeiden, wenn sich die Arbeitsbedingungen gemäß § 93 c durch Herabsetzung der Wassertemperaturen unter 28°C verbessern lassen.“ (6)

Der zitierte Leistungsabfall wurde nicht nur durch die Verkürzung der Schichtzeit hervorgerufen, sondern besonders auch durch die nachlassende Leistungsfähigkeit der arbeitenden Menschen mit steigenden Klimabelastungen.



Um diese Veränderung der Leistungsfähigkeit und des Befindens der Menschen in tiefen Steinkohlengruben mit der Änderung der Klimawerte messen und beurteilen zu können, wurden von Jansen (8) neben den Temperaturen auch die Wettergeschwindigkeiten, die relativen Feuchtigkeitsgehalte und die Kühlstärken (Katagrade) der Wetter ermittelt.

Jansen geht in der Interpretation seiner Messergebnisse wie Winkhaus von der Wirkung der Temperatur auf den Menschen aus.

Von der durch Oxidation der Nahrungsstoffe entwickelten Wärme wird bei einem Wirkungsgrad von etwa 30% rund ein Drittel für die Muskelarbeit verbraucht; die übrige Wärmemenge muss nach außen abgeführt werden, soll es nicht zu einem Wärmestau im Körper kommen.

Das Befinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen werden daher im wesentlichen durch die Entwärmung bestimmt (8).

Da in den tiefen Gruben die Umgebungstemperatur teilweise sogar höher liegt als die Körpertemperatur des Menschen, wird die Arbeit nur wegen der Verdunstung des Schweißes möglich.

Wie bereits angesprochen, werden Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit in warmen Wettern von der Wasseraufnahmefähigkeit der Wetter bestimmt, die neben der Temperatur vom relativen Feuchtigkeitsgehalt abhängt (8).

Eine eingehende Beschäftigung mit den weiteren für das Grubenklima entscheidenden Einflussfaktoren erfolgt unter **Punkt 4**.

### **Literatur:**

(1) Heise, F. und F. Herbst: Zur Frage der Begründung eines sanitären Maximalarbeitstages für Bergwerke, Glückauf 1905, S. 596 - 601

(2) Nasse, R.: Ueber den Feuchtigkeitsgehalt der Grubenwetter, Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Deutschen Reich 1888, S. 179 – 186

(3) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 645 – 653

(4) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 677 – 683

(5) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 613 – 616

(6) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.1 - 12

(7) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.51 - 58

(8) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.83 - 97

## **Bilder:**

**Bild 1:** Wettertemperatur, Nasswärmegrad und Wassergehalt in einem kühlen Revier, Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 646

### **3.6 Kondensationswärme und Verdunstungskälte**

*Unter **Punkt 2** wurden einige physikalische Zusammenhänge beim Übergang von einem Aggregatzustand auf einen anderen bereits dargestellt. Als latente Wärme bezeichnet man dabei die Wärme, die beim Übergang in einen anderen Aggregatzustand von einem Stoff aufgenommen oder abgegeben wird. Verdunstet Wasser, so nimmt der Wasserdampf Energie auf, die in ihm als latente Wärme gespeichert wird. Diese Energie wird der Umgebung, in diesem Fall den Wetter, entzogen, die damit durch die Verdunstung abkühlen.*

*Der gegenteilige Effekt tritt bei der Kondensation von Wasser ein. Durch den Übergang vom gasförmigen auf den flüssigen Aggregatzustand, der Kondensation, wird aus dem Wasser Energie, Wärme, abgegeben, die der Umgebung, den Wetter, zugeführt wird.*

Die Niederschlagung des anfallenden Kohlenstaubs erfolgte anfangs ausschließlich durch Benetzung mit Wasser. Dazu wurden Wasserbrausen bzw. -düsen verwendet. Die Bergwerke, in denen die Kohlenstaubbekämpfung auf diese Weise erfolgte, wurden als Berieselungsgruben bezeichnet. Die großen Mengen an Wasser bewirkten nicht nur die gewünschte Kohlenstaubbinding, sondern auch die Verdunstung des Wassers und damit Erhöhung der Feuchtigkeitsgehalte in den Wetter (**1**).

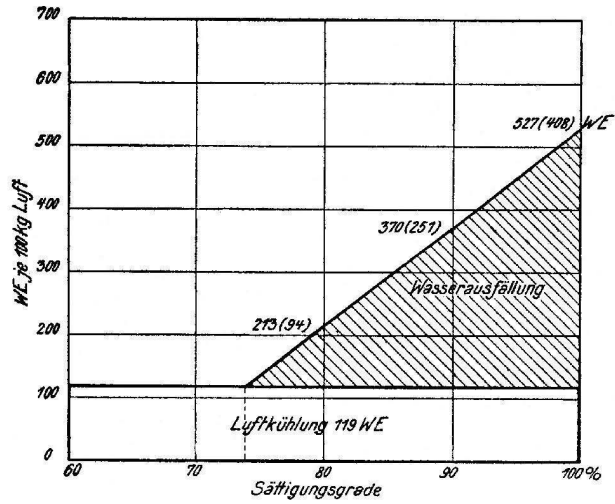
*Der dabei auftretende Effekt der Temperaturverringering – gemeint ist die Trockentemperatur – durch die Verdunstungskälte wurde schon früh festgestellt.*

Rossenbeck und Rath (**1**) führen 1911 an, dass Temperaturverringering zwischen  $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$  und  $1\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$  gemessen wurden. Sie regen daher an – ohne die negativen Auswirkungen durch die höhere Feuchtigkeit zu berücksichtigen -, in den Einziehströmen Wasserbrausen anzuordnen.

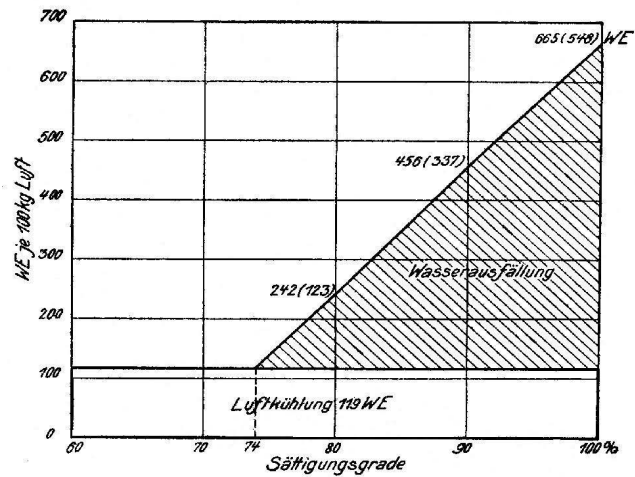
*Nachvollziehbar wird diese Anregung natürlich dadurch, dass die Grenzwerte für Schichtzeitverkürzungen im Steinkohlenbergbau wegen der Praktikabilität an Trockentemperaturen gebunden waren, darauf wird an anderer Stelle noch eingegangen.*

Herbst (**2**) geht im Jahr 1920 auf den Zusammenhang zwischen den Wassergehalten der Wetter und Temperaturveränderungen ein, allerdings über den Energieaufwand für die Kühlung der Wetter.

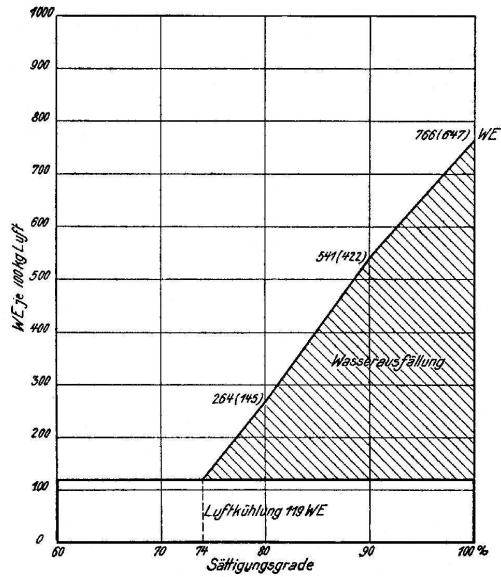
Die aufzuwendende Energie für die Herabkühlung der Wetter ist sehr stark abhängig vom Sättigungsgrad, siehe **Bilder 1 bis 4**, wenn die Wettertemperaturen unter den Taupunkt sinken sollen.



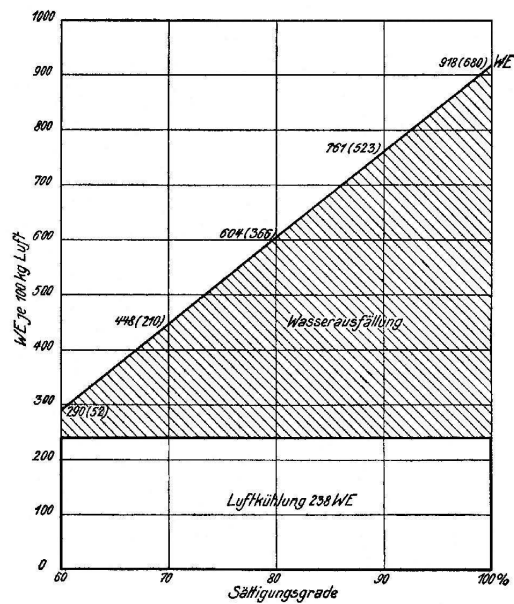
**Bild 1**, Die erforderlichen Kältemengen bei verschiedenen Kühlstufen und ihre Verteilung auf die Luftkühlung (unten) und auf die Wasserausfällung (eingeklammerte Werte), Abkühlung von 30 auf 25°



**Bild 2**, Die erforderlichen Kältemengen bei verschiedenen Kühlstufen und ihre Verteilung auf die Luftkühlung (unten) und auf die Wasserausfällung (eingeklammerte Werte), Abkühlung von 35 auf 30°



**Bild 3, Die erforderlichen Kältemengen bei verschiedenen Kühlstufen und ihre Verteilung auf die Luftkühlung (unten) und auf die Wasserausfällung (eingeklammerte Werte), Abkühlung von 40 auf 35°**



**Bild 4, Die erforderlichen Kältemengen bei verschiedenen Kühlstufen und ihre Verteilung auf die Luftkühlung (unten) und auf die Wasserausfällung (eingeklammerte Werte), Abkühlung von 30 auf 20°**

In den Abbildungen ist unten jeweils die Energiemenge aufgetragen, die für die Kühlung der trockenen Luft erforderlich ist, darüber schraffiert die Wärmemenge für die Niederschlagung der oberhalb des Taupunktes in den Wettern enthaltenen Wassermenge, die mit steigenden Sättigungsgraden zunimmt und ein Mehrfaches des Aufwandes für die eigentliche Luftkühlung betragen kann.

Es zeigt sich dabei, dass bei einer Abkühlung der Wetter um 5°C (Bilder 1 bis 3) die für die trockene Erwärmung aufzuwendende Energie konstant bleibt. Die Energie, die für die Wasserausfällung erforderlich ist, steigt mit zunehmendem Temperaturniveau.

Nach Messungen von Forstmann, die er 1910 veröffentlichte (3), verteilten sich die Sättigungsgrade im Ruhrrevier wie folgt:

Sättigungsgrad	unter 70%	70 – 80%	80 – 90%	90 – 100%
Anteil Messungen	17%	19%	27%	37%

Berücksichtigt wurden 212 Einzelmessungen in Gruben mit Berieselung..

Herbst weist in seiner Ausarbeitung (4) auf die der Verdunstungskälte entgegengesetzte Wärmeaufnahme der Wetter aus dem Wasser hin. Aus Messungen ergab sich, dass die Wettertemperatur um so mehr stieg je größer die Wasseraufnahme und damit auch die Verdunstungskälte war. Das Wasser überträgt danach die Gesteinswärme in komprimierter Form auf die Wetter, vor allem wenn es fein verteilt ist, und übertrifft damit die Kühlwirkung der Verdunstung (4).

Daraus folgt, dass eine Berieselung sinnvoll mit kaltem Wasser erfolgen sollte (4).

Mezger (5) führt im Jahr 1921 die Überlegungen zu den Zusammenhängen zwischen Verdunstung, Kondensation und Wassergehalt der Luft weiter aus: „Der Wetterstrom nimmt auf seinem Wege Wasserdampf auf oder gibt solchen ab, je nachdem die Temperatur des berührten tropfbar-flüssigen Wassers oder des bestrichenen Gesteins höher oder niedriger ist als der Taupunkt des von ihm mitgeführten Dampfes oder, genauer ausgedrückt, je nachdem die Dichte des mitgeführten Dampfes kleiner oder größer ist als die Höchstdichte, die der Wasserdampf bei der Temperatur des berührten Wassers oder des bestrichenen Gesteins erreichen kann. Damit Wasser in Dampf oder Dampf in Wasser übergehen kann, muss ein Spannungsgefälle (bei der Verdampfung) oder ein Dichtegefälle (bei der Verdunstung und ihrer Umkehrung) vorhanden sein, das auf Bewegung wirkt. Eine Verdunstung ist demnach nur möglich, wenn der sich aus der Flüssigkeit entwickelnde Dampf im Augenblick seiner Entstehung eine größere Dichte erreicht als der bereits vorhandene Dampf. Umgekehrt ist die Kondensation des Wassers im luftgefüllten Raum an die Voraussetzungen gebunden, dass sich gesättigter Dampf mit Dampf von größerer Dichte berührt. In feuchten Gruben wird die eine oder die andere dieser Voraussetzungen gegeben sein, je nachdem die Temperatur des Gesteins und damit auch die Temperatur der strömenden Wetter in der Stromrichtung zu- oder abnimmt. Demgemäß wird im einziehenden Schacht die Verdunstung, im ausziehenden Schacht die Kondensation überwiegen; in Bezug auf die ganze Grube muss sich immer ein beträchtlicher Überschuss der Verdunstung ergeben, da ja die Temperatur des ausziehenden Wetterstromes weit höher ist als die des einziehenden und dasselbe auch für den Dampfgehalt gilt.

Bisher hat man nur diesem Überschuss nähere Beachtung geschenkt. Für den Ruhrbezirk ist er im Durchschnitt zu 9 g auf 1 cbm der ausziehenden Wettermenge gefunden worden. Man hat berechnet, dass bei einem mittleren Wetterweg von 3.500 m Länge und einer mittleren Wettergeschwindigkeit von 2 m die Verdunstung von 9 g Wasser den Wetterstrom um  $0,55^\circ$  auf je 100 m Länge oder um  $0,64^\circ$  in 1 min abkühlen müsste.“

Das Wasser, das direkt aus dem Gebirge stammt und an den Stößen haftet oder sich als dünne Schicht auf der Sohle zeigt, wird zunächst in etwa die gleiche Temperatur wie das Gebirge aufweisen, in Einziehstrecken häufig wärmer als die Wetter sein (5).

Die Verdunstung dieses Wassers, so Mezger, erfolgt zunächst auf Kosten der im Wasser selbst vorhandenen Wärme. Dadurch wird das Temperaturgefälle vom Gestein zum Wasser steigen und vom Wasser zu den Wettern geringer werden.

Solange das Wasser wärmer als die Wetter bleibt, kann es den Wärmeverlust nur durch Wärmezufuhr aus dem Gestein kompensieren.

Daraus folgt, dass die bei der Verdunstung verbrauchte Wärme in der Hauptsache dem Gebirge entzogen wird und weniger den Wettern.

Die Wirkung auf die Wetter ist nach Mezger also eine indirekte, weil die Wetter im wesentlichen nicht durch die Verdunstung gekühlt werden, andererseits die Wettererwärmung durch Wärmeübergang aus dem Gebirge geringer wird. Anders liegen die Verhältnisse – wie später geschildert – wenn das Wasser frei im Querschnitt verteilt wird (5).

Der geringere Teil des Wärmeverbrauchs durch die Verdunstung, der den Wettern entzogen wird, ruft andererseits eine Gegenwirkung mit Einfluss auf die Wettertemperatur hervor.

Durch die Verringerung der Wettertemperatur steigt das Temperaturgefälle zwischen Wettern und Gebirge relativ an, so dass der Wärmeübergang aus dem Gebirge in die Wetter steigt, und damit ein Teil des Verdunstungseffektes verloren geht, der später über die geringere Temperatur im Ausgleichsmantel aber wieder nutzbar wird (5).

Beim Aufstieg der Wetter von tieferen zu höheren Sohlen kommt es häufig zur Kondensation von Wasser mit der entsprechenden Wärmeentwicklung.

Der Wetterstrom bestreicht auf seinem Weg durch die Grube wärmeres und später kälteres Gestein. Im Bereich der hohen Temperaturen sind die Wetter in der Lage, größere Mengen Wasser aufzunehmen, die später an das kältere Gestein zum Teil wieder abgegeben werden.

Die durch die Kondensation entstehende Wärme wird an das Gebirge und an die Wetter abgegeben. Sie wirkt der Wärmeabgabe der Wetter im Ausziehstrom an das Gebirge entgegen und verstärkt die Wärmefortleitung des Gesteins (5).

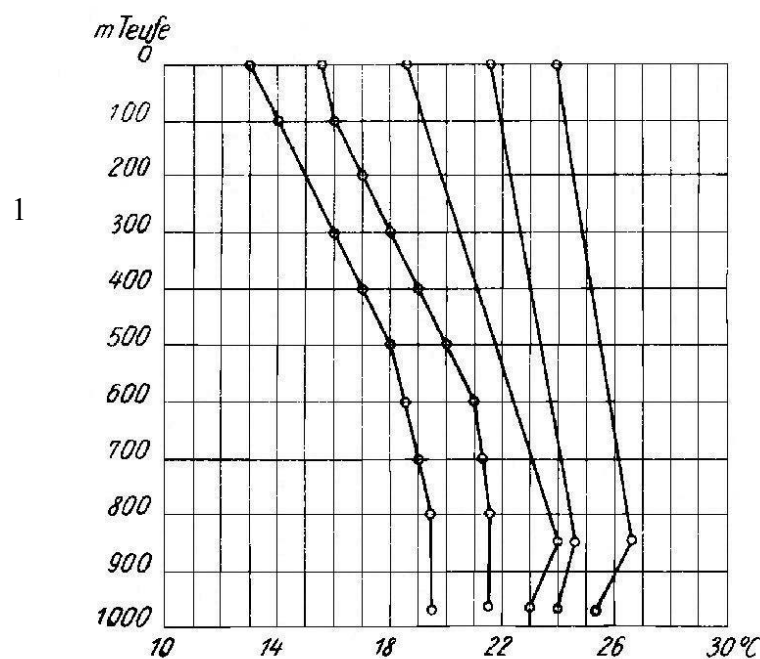
Die Vorgänge laufen im Ausziehschacht im Grundsatz umgekehrt ab wie die Vorgänge im Einziehschacht, allerdings mit geringeren jahreszeitlichen Schwankungen und mit weitaus geringeren Wärmebeträgen.

Der Grund liegt in den größeren Temperaturschwankungen im Einziehschacht, bedingt durch die jahreszeitlich und tageszeitlich unterschiedlichen Temperaturen, die größere Temperaturunterschiede zu den Schachtstößen bedingen und dadurch auch stärkere physikalische Reaktionen (5).

Mezger verweist auch auf die negative Auswirkung der Wasserverdunstung auf die klimatischen Verhältnisse wegen der Zunahme der Feuchtigkeit in den Wettern, ohne zu diesem Zeitpunkt genauere Aussagen dazu machen zu können, weil die Zusammenhänge noch nicht weiter erforscht sind.

Die Aussagen werden von Winkhaus (6) im Jahr 1922 durch seine Untersuchungen auf der Zeche Radbod erweitert.

Messungen im Schacht Radbod 1 hatten das in **Bild 5** dargestellte



**Bild 5, Temperaturkurven des einfallenden Wetterstromes im Einziehschacht für verschiedene Tagestemperaturen**

Ergebnis.  
Auf der 970m-Sohle im Schacht der Zeche Radbod zeigten sich um  $1\frac{1}{2}^{\circ}$  niedrigere Temperaturen als auf der 120 m höher gelegenen III. Sohle. Dieser Zustand blieb auf Dauer bestehen. Eine Erklärung dafür wurde erst gefunden, als man 30 m unter der III. Sohle eine

Wasseraustrittsstelle in dem ansonsten trockenen Schacht entdeckte. Durch Einstriche, Bühnen usw. wurde das Wasser, das beim Austritt  $23^{\circ}\text{C}$  und 80 m tiefer  $18^{\circ}\text{C}$  aufwies, fast über den gesamten Schachtquerschnitt verteilt. Auf dem genannten Weg wurden 0,5 bis  $1,5\text{ g je m}^3$  Wettermenge verdunstet. Die dabei auftretende Verdunstungskälte mit den oben genannten Konsequenzen hatte genügt, um die Wettertemperatur zu verringern.

Weitere Ausführungen dazu werden unter **Punkt 3.5** und bei den Maßnahmen zur Klimabeherrschung gemacht.

### Literatur:

- (1) Rossenbeck und Rath: Über künstliche Kühlung von Grubenwettern, Glückauf 1911, S. 267 - 273
- (2) Herbst, F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 409 - 417

- (3) Forstmann: Untersuchungen über die Austrocknung der Grubenbaue usw., Glückauf 1910, S. 78
- (4) Herbst,F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 429 - 436
- (5) Mezger,C.: Der Wetterzug in seiner Bedeutung für die Kühlung der Grubenbaue, Glückauf 1921, S. 488 - 492
- (6) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 677 - 683

### **Bilder:**

**Bild 1** Die erforderlichen Kältemengen bei verschiedenen Kühlstufen und ihre Verteilung auf die Luftkühlung (unten) und auf die Wasserausfällung (eingeklammerte Werte), Abkühlung von 30 auf 25°, Herbst,F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 412

**Bild 2** Die erforderlichen Kältemengen bei verschiedenen Kühlstufen und ihre Verteilung auf die Luftkühlung (unten) und auf die Wasserausfällung (eingeklammerte Werte), Abkühlung von 35 auf 30°, Herbst,F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 412

**Bild 3** Die erforderlichen Kältemengen bei verschiedenen Kühlstufen und ihre Verteilung auf die Luftkühlung (unten) und auf die Wasserausfällung (eingeklammerte Werte), Abkühlung von 40 auf 35°, Herbst,F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 412

**Bild 4** Die erforderlichen Kältemengen bei verschiedenen Kühlstufen und ihre Verteilung auf die Luftkühlung (unten) und auf die Wasserausfällung (eingeklammerte Werte), Abkühlung von 30 auf 20°, Herbst,F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 412

**Bild 5** Temperaturkurven des einfallenden Wetterstromes im Einziehschacht, Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 678

### **3.7 Wettergeschwindigkeiten und Wettermengen**

Voß (1) weist auf die besondere Bedeutung der Wettermenge, vor allem im Strebbereich, als wichtige Einflussgröße für das Grubenklima hin.

Unter **Punkt 7** wird noch näher auf den Einfluss der Wettergeschwindigkeit und der Wettermenge auf das Klima eingegangen.

Es soll daher hier nur an Hand des zeitgenössischen Briefwechsels dargestellt werden, welche Bedeutung den Wettergeschwindigkeiten und Wettermengen auf den tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers bereits in den 1920er Jahren beigemessen wurde.

Die Bestrebungen gingen sogar dahin, die Wettergeschwindigkeiten über das gesetzlich erlaubte Maß von 6m/s hinaus zu erhöhen.



Ein Vorreiter war die Zeche Radbod. Das geht aus einem Schreiben vom 25. September 1926 der Bergwerksgesellschaft Trier – als Eigentümerin der Zeche Radbod – an den Verein für die bergbaulichen Interessen (Bergbauverein) hervor (2): „Wir haben unterm 26. Mai ds. Jrs. folgenden Antrag bei der Bergbehörde eingereicht:

„Unter Bezugnahme auf § 370 der Bergpolizeiverordnung vom 1. Januar 1911 beantragen wir ergebenst eine Ausnahmegewilligung vom § 1228 dieser Verordnung dahin, dass für unsere Zeche Radbod in allen Richtstrecken, Querschlägen und Blindschächten eine Wettergeschwindigkeit bis zu 10 m/sek gestattet wird.

Begründung:

Es ist uns wegen des starken Gebirgsdruckes auf Dauer wirtschaftlich nicht möglich, die Streckenquerschnitte in solchen Ausmaßen zu halten, dass den Betriebspunkten bei Innehaltung der bergpolizeilich vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit von 6 m/sek die zur Abkühlung nötigen Wettermengen zugeführt werden können. Die Folge hiervon wird sein, dass ein größerer Teil der Belegschaft in hohen Wärmegraden arbeiten muss, wodurch erhebliche gesundheitliche und wirtschaftliche Schäden entstehen.

Wir verweisen auf die Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Jahrgang 1925, Band 73, S. 332, wonach das Oberbergamt Dortmund derartige Ausnahmen bereits genehmigt hat.

Es sei noch vermerkt, dass der Hauptgrund, der z. Zt. zum Erlass der Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit auf 6 m/sek geführt hat, bei uns schon längst weggefallen ist: Das Auslöschchen der Benzinlampen durch zu hohe Wettergeschwindigkeit kommt bei den elektrischen Lampen nicht mehr in Frage.

Es ist uns daraufhin mitgeteilt worden, dass das Oberbergamt wegen der grundsätzlichen Bedeutung der Angelegenheit die Sache dem Herrn Minister unterbreitet habe. Dabei wurde uns gleichzeitig angedeutet, dass mit einer Genehmigung vorläufig nicht zu rechnen sei, und dass auch davor gewarnt würde, den Betrieb in Erwartung einer demnächstigen Genehmigung schon jetzt daraufhin einzustellen.

Aus den mit der Bergbehörde gepflogenen mündlichen Verhandlungen wissen wir, dass das Oberbergamt in einer zu hohen Wettergeschwindigkeit zweierlei Gefahren erblickt, nämlich auf sicherheitlichem und gesundheitlichem Gebiet. Es wird zugegeben, dass in sicherheitlicher Beziehung die Bedenken über eine Erhöhung der Wettergeschwindigkeit über 6 m hinaus nach Einführung der elektrischen Handlampen zweifellos geringer geworden seien, aber sie seien doch nicht ganz fortgefallen, da einerseits die Wetterlampe als Schlagwetteranzeiger nicht ganz ersetzt werden könne, und andererseits Erfahrungen der letzten Zeit gezeigt hätten, dass starke explosible Gemenge auch in Querschlägen und Richtstrecken im einziehenden Wetterstrom auftreten könnten. Eine weitere Gefahr – und das ist nach unserer Ansicht das Hauptbedenken von Oberberggrat Schlattmann – sei, dass unter einer zu großen Wettergeschwindigkeit die Gesteinsstaubstreuungen leiden würden. Ebenfalls fürchtet man das Wegführen von Kohlenstaub von den Förderwagen in die Querschläge, Richtstrecken usw., und endlich bliebe nach Ansicht der Bergbehörde noch die Frage zu klären, ob eine Erhöhung der Wettergeschwindigkeit nicht die Fortpflanzung einer Explosion begünstige.

In gesundheitlicher Hinsicht wird in erster Linie eine zu starke Belästigung der Belegschaft durch den Gesteins- und Kohlenstaub befürchtet. Außerdem lägen Bedenken vor, dass zu hohe Geschwindigkeiten auch in anderer Hinsicht ungünstig auf den menschlichen Organismus einwirken könnten.

Dass all diesen Bedenken gegenüber die Angelegenheit für die warmen Gruben von außerordentlich großer Bedeutung seien, erkennt das Oberbergamt an, und eben dieser Bedeutung wegen hat es den Antrag dem Herrn Minister vorgelegt, damit nicht vielleicht auf Grund von Bedenken, die vielleicht später der Prüfung nicht standhielten, die Sache abgelehnt würde, zumal es sich dabei noch um eine Angelegenheit handle, die nicht allein den Oberbergamtsbezirk Dortmund betreffe. Herr Ministerialrat Hatzfeld hat nun Gelegenheit genommen, am 20. ds. Mts. anlässlich einer Grubenfahrt auf Radbod, die Angelegenheit mit uns zu besprechen. Wir haben ihn in eine Richtstrecke geführt, wo wir durch Blenden jede beliebige Wettergeschwindigkeit herstellen könnten und haben ihm gezeigt, dass eine dort aufgestellte Gesteinsstaubschranke selbst bei einer Wettergeschwindigkeit von 11 – 12 m/sek unberührt bleibt. Der Gesteinsstaub der Schranke wird durch einen solchen Wetterstrom also nicht fortgeführt. Ebenso haben wir gezeigt, dass auch die Streuung an den Stößen nicht leidet. Der dort lagernde Gesteinsstaub wird durch die Beine der Türstöcke und die Rauheiten der Bergemauer geschützt. Es war dagegen nicht von der Hand zu weisen, dass der auf der Sohle lagernde Staub, wenn er durch fahrende Bergleute einmal aufgewirbelt worden war, für die nachfolgenden Leute eine gewisse Belästigung darstellt. Wir haben dann auch einige mit Feinkohlen gefüllte Wagen in die Strecke gestellt, und auch hier zeigte sich, dass durch solch scharfen Wetterstrom eine bedrohliche Aufwirbelung von Kohlenstaub aus diesen Wagen auf die Dauer nicht stattfindet.

Herr Ministerialrat Hatzfeld hat uns gegenüber dann erklärt, dass er seine Bedenken in sicherheitlicher Beziehung zurückstelle, und dass er die Entscheidung über die gesundheitliche Frage den Hygienikern überlasse. Er wolle die Sache deshalb dem Ausschuss für Schlagwetter- und Kohlenstaubgefahr unterbreiten und auch bei einer Besprechung, die im Oktober in Berlin mit Hygienikern über die Abänderung des § 93 c des Berggesetzes stattfinde, auf die Tagesordnung setzen.

Wir haben bei dieser Grubenfahrt den Herren der Bergbehörde gegenüber vor allen Dingen auch hervorgehoben, dass wir die hohe Wettergeschwindigkeit nicht nur, um die Kurzschichten zu vermeiden, sondern vor allen Dingen auch, um ganz allgemein der Gesamtbelegschaft dadurch, dass wir kühle Wetter den Bauen schnellmöglichst zuführten, angenehmere Arbeitsbedingungen zu schaffen.

Die geschilderten Versuche haben wir auf der Wettersohle gemacht und zwar in einem Strom, der Wetter aus heißen Betrieben des Nordfeldes abführt. Die Temperatur war 29 ½ Grad, und es dürfte Sie interessieren, dass die Kühlwirkung bei dem starken Wetterzug so groß war, dass Ministerialrat Hatzfeld die Temperatur auf etwa 24 bis 25 Grad schätzte.

Bemerken möchten wir noch, dass unsere Betriebsvertretung sich unserem Antrage angeschlossen und keine Bedenken geltend gemacht hat, und dass der Revierbeamte und auch der Dezernent des Oberbergamtes, Oberbergat Stoevesandt, die Sache auf das wärmste vertreten haben. Oberbergat Schlattmann scheint dagegen noch gewisse Bedenken wegen der Gesteinsstaubbstreuung zu haben, war aber zum Schluss der ganzen Sache gegenüber nicht mehr so ablehnend als zu Beginn....“.

*Die für die Zeche Radbod geschilderte Problematik, vor allem das Dilemma, dass der erhöhte Gebirgsdruck einerseits die Standfestigkeit der Strecken negativ beeinflusste, andererseits zur Beherrschung der klimatischen Verhältnisse größere Wettermenge erforderlich gewesen wären, traf natürlich auch die Nachbaranlagen der Zeche Radbod.*

Die Klöckner-Werke AG als Eigentümerin der Zeche Werne schloss sich in einem Schreiben vom 29. September 1926 an den Verein für die bergbaulichen Interessen der von Radbod ausgehenden Initiative an.

Die Betriebsverwaltung der Zeche Werne schreibt dort (3): „Die Bergwerksgesellschaft Trier hat uns Abschrift einer an Sie gerichteten Eingabe vom 25. IX. d. J. gegeben. Der hierin gemachten Anregung und Begründung können wir uns als tiefe und warme Grube nur anschließen.

Welchen engherzigen und – fast möchte man sagen – rückständigen Standpunkt das Oberbergamt Dortmund bezüglich der Wettergeschwindigkeit bis vor kurzem noch eingenommen hat, mögen Sie aus folgendem ersehen: Für 3 Richtstrecken auf der Wettersohle von Werne I/II hatte die Bergbehörde eine Wettergeschwindigkeit bis zu 10 m/sec anstandslos genehmigt. Zur regelmäßigen Förderung oder Ein- und Ausfahrt der Belegschaft werden die Strecken zum größten Teil nicht benutzt. Die befristete Genehmigung lief Ende Juni ds. Js. ab. Nach langem Hin und Her hat endlich das O.B.A. die Wettergeschwindigkeit bis zu 10 m/sec „vorbehaltlich jederzeitigen Widerrufs erteilt und mit dem 1. Juli 27 befristet.“

Der Bergrevierbeamte hat zu dieser Angelegenheit am 7. VIII. d.J. noch folgendes geschrieben: „Auf Veranlassung des Oberbergamts weise ich ausdrücklich darauf hin, dass die durch Verfügung des Oberbergamts vom 29. VI. 26 ... gewährte und bis zum 1. VII. 27 befristete Ausnahme nicht verlängert werden wird. Es ist deshalb erforderlich, alsbald Maßnahmen zu ergreifen, um diesen Ausnahmezustand zu beseitigen.“

Praktisch ist bei starkem Gebirgsdruck nun gar nicht möglich, Streckenquerschnitte zu schaffen, um große Wetterströme – (die zu bewältigende Wettermenge beträgt bei uns 16.000 cbm/min) – mit Geschwindigkeiten bis zu 6 m/sec durchzubringen.

Wir begrüßen es daher, dass die Bergwerksgesellschaft Trier so tatkräftig die Frage der Wettergeschwindigkeit verfißt und möchten nur wünschen, dass sämtliche maßgebenden Stellen die warmen Gruben in dieser brennenden Frage unterstützen.“

### **Literatur:**

- (1) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 53 - 55
- (2) Schreiben der Bergbaugesellschaft Trier vom 25. September 1926 an den Verein für die bergbaulichen Interessen, DBM/montan.dok/Bergbau-Archiv Bochum 57/43
- (3) Schreiben der Klöckner-Werke AG vom 29. September 1926 an den Verein für die bergbaulichen Interessen, DBM/montan.dok/Bergbau-Archiv Bochum 157/136

### **3.8 Zuströmendes Gas**

Nach Patteisky (1) strömen auf einigen Bergwerken, auch des östlichen Ruhrreviers, Gase zu.

Die Mengen sind jedoch in Relation zu den großen Wettermengen gering und wirken sich nicht negativ auf das Klima aus (2).

### **Literatur:**

- (1) Patteisky, K.: Die thermalen Solen des Ruhrgebietes und ihre juvenilen Quellgase, Glückauf 1954, S. 1508 - 1519
- (2) Schulz, W.: Die Bekämpfung hoher Grubentemperaturen (Auszug aus einem am 20.6.1932 im Haus der Technik in Essen gehaltenen Vortrag), Der Bergbau 1933, S. 1 - 5

### **3.9 Wasserzuflüsse**

In einigen Bergwerken trat nach Patteisky (1) thermale Sole in das Grubengebäude ein.

Besonders gravierend war die Situation auf der Zeche Hermann in Selm, die seinerzeit insbesondere wegen des Solezutritts stillgelegt werden musste. Vor allem wegen der Abbaueinwirkungen liefen in 850 m Teufe etwa 2 m<sup>3</sup>/min 42°C warme Sole aus dem Deckgebirge zu (1).

Auch auf Bergwerken des östlichen Ruhrreviers trat Sole auf. Die höchste Soletemperatur wurde mit 56°C im Schacht I der Zeche Sachsen gemessen; dort trat Sole mit einem NaCl-Gehalt von 21% in ein 1330 m tiefes Bohrloch ein (1).

Herbst (2) erwähnt 1920, dass erschlossene heiße Quellen für manche Gruben erhebliche Schwierigkeiten gebracht haben.

Das gilt auch für die tiefen Gruben im östlichen Ruhrrevier. Sowohl Winkhaus im Jahr 1922 **(3)** für die Zeche Radbod als auch Jansen im Jahr 1927 **(4)** für die Zeche Sachsen weisen auf die Problematik hin, allerdings für beide Bergwerke mit dem Hinweis, dass die Klimabelastung durch geeignete Maßnahmen – Auffangen des Wassers direkt an den Quellen, dann durch Rohrleitungen geschlossen in den Hauptsumpf – vermieden werden kann.

Schulz geht in seinem im Jahre 1932 gehaltenen Vortrag „Die Bekämpfung hoher Grubentemperaturen“ **(5)** darauf ein, dass sich häufig aus großer Tiefe stammende Grubenwässer in Form von warmen Quellen unangenehm bemerkbar machen, vor allem wenn sie im Gegenstrom den einziehenden kühlen Wetter entgegenreifen.

So ist ein m<sup>3</sup> Wasser, das sich um 20°C abkühlt, in der Lage, fast 6.500 m<sup>3</sup> Wetter um 10°C zu erwärmen.

Schulz schildert ein Beispiel, ohne das Bergwerk konkret zu nennen, in dem sich der einziehende Wetterstrom von 400 m<sup>3</sup>/min von 14°C auf 26°C durch Grubenwasser erwärmt, das sich hierbei nur um 1°C von 37,5 auf 36,5°C abkühlt **(5)**.

Insgesamt sind heiße Quellen nach Voß **(6)** in den tiefen Grubenbauen der deutschen Steinkohlenbergwerke aber selten.

### **Literatur:**

**(1)** Patteisky, K.: Die thermalen Solen des Ruhrgebietes und ihre juvenilen Quellgase, Glückauf 1954, S. 1334 - 1348

**(2)** Herbst, F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 409 - 417

**(3)** Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 677 - 683

**(4)** Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.1 - 12

**(5)** Schulz, W.: Die Bekämpfung hoher Grubentemperaturen (Auszug aus einem am 20.6.1932 im Haus der Technik in Essen gehaltenen Vortrag), Der Bergbau 1933, S. 1 - 5

**(6)** Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 52

### **3.10 Wärme aus Förderung und Haufwerk**

Auf die Zusammenhänge zwischen dem Haufwerk und der Wärmeentwicklung durch Oxidation wurde bereits unter **Punkt 3.4** eingegangen.

Das Haufwerk gibt jedoch auch direkt Wärme an die Wetter ab. Voß (**I**) gibt an, dass dabei die Wärmeabgabe der Kohle auf Steigförderern die wichtigste Größe ist, vor allem, wenn die Kohle im Einziehweg der Wetter abgeführt wird.

Nach Voß ist die zusätzliche Wärmeaufnahme der Wetter geringer als die Wärmeabgabe der Förderkohle, weil durch die zusätzliche Erwärmung der Wärmefluss aus dem Gebirge geringer wird. Hintergrund ist, dass der Wärmeübergang aus dem Gebirge in die Wetter proportional zur Temperaturdifferenz zwischen beiden Medien ist.

Bemerkenswert ist, dass nach Voß (**I**) der überwiegende Teil der von der Kohle abgegebenen Wärme, etwa 80 – 90 %, zur Verdunstung des in der Förderkohle enthaltenen Wassers verbraucht wird und nur der Rest für die Erhöhung der Trockentemperatur.

Dadurch kommt es zu einem Anstieg der absoluten Feuchte der Wetter, zu einer Erhöhung der Trockentemperatur und zu einer Zunahme der relativen Feuchte als Resultierende aus den beiden ersten Werten.

Auf die klimatischen Verhältnisse wirken sich diese Vorgänge negativ aus (**I**).

Voß (**I**) führt ein Rechenbeispiel an, das von einer Rohförderung von 120 t/h ausgeht, somit 33,3 kg/s.

Unter **Punkt 12** wird auf die Folgerungen aus den Rechenbeispielen noch eingegangen.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sollen die Beispiele bereits hier dargestellt werden. Voß (**I**) geht für eine Abbaustrecke zunächst von folgenden Annahmen aus:

Länge der Abbaustrecke:  $L = 700 \text{ m}$

Ursprüngliche Gebirgstemperatur:  $t_{\text{gu}} = 47^\circ\text{C}$

Temperatur der Kohle bei der Übergabe in die Bandstrecke:  $t_{\text{k}} = 40^\circ\text{C}$

Mittlere Feuchttemperatur:  $t_{\text{fm}} = 20^\circ\text{C}$

Daraus ergibt sich die Abkühlung der Kohle ( $t_{\text{k}}$ ) aus der Formel

$$\Delta t_{\text{k}} \sim 0,0024 \cdot L^{0,8} (t_{\text{k}} - t_{\text{fm}}) \text{ in K}$$

für das konkrete Beispiel:

$$\Delta t_{\text{k}} = 0,0024 \cdot 700^{0,8} \cdot 20 = 9,1 \text{ K.}$$

Die Wärmeabgabe der Kohle  $Q_{\text{k}}$  errechnet sich (siehe auch **Punkt 9.1.1**):

$$Q_{\text{k}} = m_{\text{k}} \cdot c_{\text{k}} \cdot \Delta t_{\text{k}} \text{ in kW}$$

$m_{\text{k}}$ ....Fördermenge (Rohkohle) in kg/s

$c_{\text{k}}$ ....spezifische Wärme der Förderkohle  $\sim 1,25$  in kJ/kgK

$\Delta t_{\text{k}}$ ....Abkühlung der Förderkohle im betrachteten Wetterweg in K

Daraus folgt bei der Rohförderung  $m_{\text{k}}$  von 33,3 kg/s:

$$Q_K = 33,3 \cdot 1,25 \cdot 9,1 = 380 \text{ kW.}$$

Grundsätzlich geht Voß (**I**) davon aus, dass die Wärmeaufnahme der Wetter etwa 60 bis 80% der Wärmeabgabe aus der Förderkohle ausmacht, weil durch die zusätzliche Wärme der Wärmezufluss aus dem Gebirge geringer wird.

Wie bereits oben angesprochen, führen nach Voß (**I**) nur etwa 10 bis 20% der Wärmeaufnahme zu einer Erhöhung der Trockentemperatur und die restliche Wärmeaufnahme zur Erhöhung des Wassergehaltes der Wetter.

Die Berechnung erfolgt – Einzelheiten werden unter **Punkt 9.1.1** ausführlich dargelegt – für die Erhöhung der Trockentemperatur und der Feuchtigkeit wie folgt:

- Die trockene Erwärmung der Wetter:

$$\Delta t_{tK} = (0,7 \cdot Q_K \cdot 0,15) / (m_w \cdot c_{pL})$$

$m_w$ ...Wettermenge in kg/s (angenommen 15 m<sup>3</sup>/s bzw.  $m_w = 19,5$  kg/s)  
 $c_{pL}$ ...1 kJ/kgK, spez. Wärme trockener Luft

Faktor 0,7 wegen der Wärmeaufnahme der Wetter in Höhe von 60 bis 80% der Wärmeabgabe aus der Förderkohle

Faktor 0,15, weil 10 bis 20% der Wärmeaufnahme zu einer höheren Trockentemperatur führt

$$\Delta t_{tK} = (0,7 \cdot 380 \cdot 0,15) / (19,5 \cdot 1) = 2,0 \text{ K}$$

- Die zusätzliche Wasseraufnahme:

$$\Delta x_K = (0,7 \cdot Q_K \cdot 0,85) / (m_w \cdot r_v) \text{ in kg/kg}$$

$r_v$ ...2.500 kJ/kg, Verdampfungswärme des Wasserdampfes

Faktor 0,85, weil 80 bis 90% der Wärmeaufnahme eine Erhöhung des Wasserdampfgehaltes bewirkt

$$\Delta x_K = (0,7 \cdot 380 \cdot 0,85) / (19,5 \cdot 2.500) = 0,0046 \text{ kg/kg} = 4,6 \text{ g/kg}$$

Voß (**I**) nimmt in seinem Beispiel an, dass vor Beginn der Förderung am Strebeingang eine Trockentemperatur von  $t_t = 28^\circ\text{C}$  und eine Feuchttemperatur  $t_f = 22^\circ\text{C}$  vorhanden ist.

Aus einem hx-Diagramm (siehe auch **Punkt 9.1.1**) lässt sich daraus ein Wasserdampfgehalt von 12,4 g/kg und eine relative Feuchte von 58% ablesen. Durch den Einfluss der Förderkohle steigt die Trockentemperatur am Strebeingang auf  $30^\circ\text{C}$  und der Wasserdampfgehalt auf 17g/kg und damit die relative Feuchte auf 70%. Die Feuchttemperatur beträgt nach dem hx-

Diagramm dann 25,7°C. Bei einer angenommenen Wettergeschwindigkeit von 1,5 m/s steigt die Effektivtemperatur von 20,8°C auf 24,2°C.

Wie bereits erwähnt, geht Voß (1) in dem Beispiel von einer Rohförderung von 120 t/h aus.

Unterstellt man eine Gewinnungszeit von 20 Stunden je Tag, ergibt sich daraus eine tägliche Rohförderung von 2.400 t.

Das Beispiel basiert auf den Anfang der 1980er Jahre aktuellen Betriebspunktförderungen, die sich seitdem deutlich erhöht haben und in Zukunft noch weiter steigen werden.

Tönjes (2) prognostiziert für das Jahr 2012 eine Betriebspunktförderung von 7.500 t<sub>v</sub>/d.

Es soll im Folgenden das von Voß (1) gegebene Rechenbeispiel auf eine entsprechend höhere Betriebspunktförderung modifiziert werden.

Um die verwertbare Förderung von 7.500 t<sub>v</sub>/d erzielen zu können, wird bei 20-stündiger Betriebszeit je Tag eine Rohförderung von 12.000 t<sub>v</sub>/d, entsprechend 166,7 kg/s, unterstellt.

Die übrigen Rechenparameter sollen nicht verändert werden; es werden auch nur die Effekte durch die Wärmeabgabe aus der Förderkohle betrachtet und kein Einfluss durch klimaverbessernde Maßnahmen (Klimatisierung).

Die Wärmeabgabe der Kohle  $Q_K$  errechnet sich dann

$$Q_K = 166,7 \cdot 1,25 \cdot 9,1 = 1.900 \text{ kW}$$

Die trockene Erwärmung der Wetter:

$$\Delta t_{tK} = (0,7 \cdot 1.900 \cdot 0,15)/(19,5 \cdot 1) = 10,2 \text{ K}$$

Die zusätzliche theoretische Wasseraufnahme:

$$\Delta x_K = (0,7 \cdot 1.900 \cdot 0,85)/(19,5 \cdot 2.500) = 23,2 \text{ g/kg}$$

Die Trockentemperatur am Strebeingang (wegen der Gegenstromförderung identisch mit dem Übergang Streb/ Bandstrecke) erhöht sich auf 38,2°C (28°C + 10,2°C) und der Wasserdampfgehalt auf 35,6 g/kg (12,4 g/kg + 23,2 g/kg).

Aus dem hx-Diagramm ergibt sich eine relative Feuchte von etwa 90% und eine Feuchttemperatur von etwa 36,5°C.

Ohne Zusatzmaßnahmen steigt die Effektivtemperatur ebenfalls über 36°C, also in einen Bereich, in dem eine Beschäftigung nicht mehr zugelassen ist (siehe auch **Punkt 4.4**).

Konsequenzen werden unter **Punkt 12** noch ausgeführt.

## Literatur:

(1) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 46 - 48



(2) Tönjes, B.: Bergwerk 2012 – Hightech für die Zukunft, Glückauf 2003, S. 663 - 671

### 3.11 Wärme durch Mechanisierung

Die Temperaturzunahme durch die Mechanisierung verstärkte sich nach dem ersten Weltkrieg, da sowohl der Einsatz der Elektrizität als auch der Druckluft zunahm.

Wie Schulz 1933 vortrug (1), waren Elemente der Mechanisierung von Förderung und Gewinnung die Lokomotiven, Häspel, Schüttelrutschen und Schrämmaschinen.

Bei Verwendung von Druckluft sieht Schulz eine für das Klima günstige Wirkung, weil sich die entspannte Luft gegenüber der komprimierten um 85 – 200°C abkühlen kann.

Bei einem größeren Anteil der Druckluft an der gesamten Wettermenge kann dieser Effekt spürbar werden, zumal sich durch die zusätzliche Luft die Wettergeschwindigkeit erhöhen und der Feuchtigkeitsgehalt verringern kann (1).

Weitaus differenzierter betrachtet Fritzsche im Jahr 1935 in seinem Artikel „Die Beeinflussung der Wittertemperatur durch Elektrizität und Pressluft im Steinkohlenbergbau“ (2) den Einfluss der Elektrizität und der Druckluft auf das Grubenklima.

Eine eingehendere Untersuchung zu diesem Thema hatte vorher noch nicht stattgefunden.

Fritzsche revidiert zunächst die pauschale Aussage, dass die Druckluft grundsätzlich abkühlend wirkt.

Die Wirkung von Druckluft auf das Klima ist abhängig davon, wie die Druckluft verwendet wird.

Strömt sie durch Düsen oder Undichtigkeiten in der Druckluftleitung lediglich aus, wird also keine Arbeit verrichtet, bleibt der Wärmeinhalt unverändert; eine Abkühlung der Umgebung tritt also nicht ein (2).

Anders sind die Verhältnisse bei Arbeitsmaschinen, bei denen durch die Druckluft mechanische Energie erzeugt wird.

Bei Maschinen wie Abbauhämmern, Bohrhämmern, Schüttelrutschen, Gurtförderern in Strecken und Streben mit abwärts gerichteter oder söhliger Förderung, Streckenhäspeln und Lüftern wird die Energie durch Reibung wieder in Wärme verwandelt.

In unmittelbarer Nähe der Arbeitsmaschinen entsteht durch die expandierende Druckluft zwar Kälte, insgesamt kommt es aber weder zu einer Abkühlung noch zu einer Erwärmung, das heißt die Wärmebilanz ist ausgeglichen (2).

Lediglich bei Arbeitsmaschinen, die eine Lageveränderung durch Heben von Lasten, ein Niveau mit höherer potentieller Energie erreichen, bleibt der Teil

der Kühlwirkung der expandierenden Luft, der tatsächlich der Zunahme der potentiellen Energie entspricht, erhalten (2).

Fritzsche geht auch auf die Druckluft als Quelle für die Erwärmung der Wetter ein, die einmal aus dem Wärmeübergang aus der komprimierten und dadurch erwärmten Druckluft in den Wetterstrom, der die Druckluftrohre umströmt, besteht und zum anderen aus der Kondensationswärme, die bei der Ausscheidung von Wasser aus der Druckluft auf deren Weg durch das Grubengebäude frei wird.

Das Temperaturgefälle zwischen der durch die Rohrleitungen strömenden Druckluft und den Wetter schwankt erheblich. Es ist zunächst abhängig von der Temperatur der Druckluft bei Verlassen des Kompressors und der Abkühlung der Druckluft auf ihrem Weg zur Rasenhängebank. Auf mögliche Maßnahmen zur Abkühlung der Druckluft wird unter **Punkt 7.2.1** eingegangen.

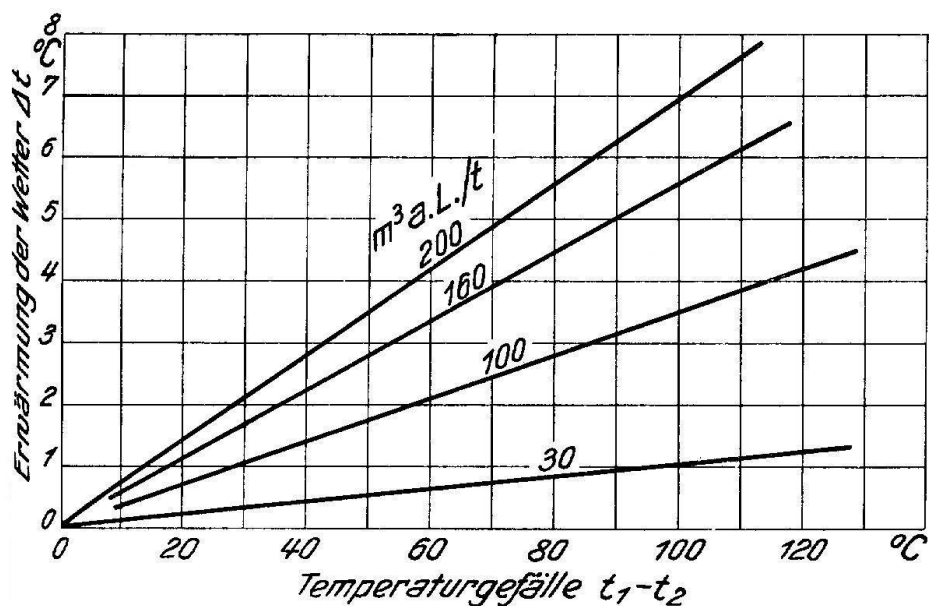
Die Temperatur der Wetter, die entlang den Rohrleitungen strömen, ist abhängig von der Ansaugtemperatur und der Frage, ob die Rohrleitungen im Einzieh- oder Ausziehschacht verlegt sind.

Besonders hoch ist die Temperaturdifferenz, wenn die Wetter mit geringer Temperatur einströmen und die Druckluft ungekühlt durch den Einziehschacht geführt wird (2).

In **Bild 1** gibt Fritzsche einen Überblick über das Ausmaß der Wettererwärmung durch die Druckluftleitung. Dabei treten zwei Proportionalitäten auf.

Zum einen ist die Wettererwärmung um so höher, je größer der Temperaturunterschied ( $t_1 - t_2$ ) zwischen der Rohrleitung ( $t_1$ ) und der Temperatur der Wetter ( $t_2$ ) ist.

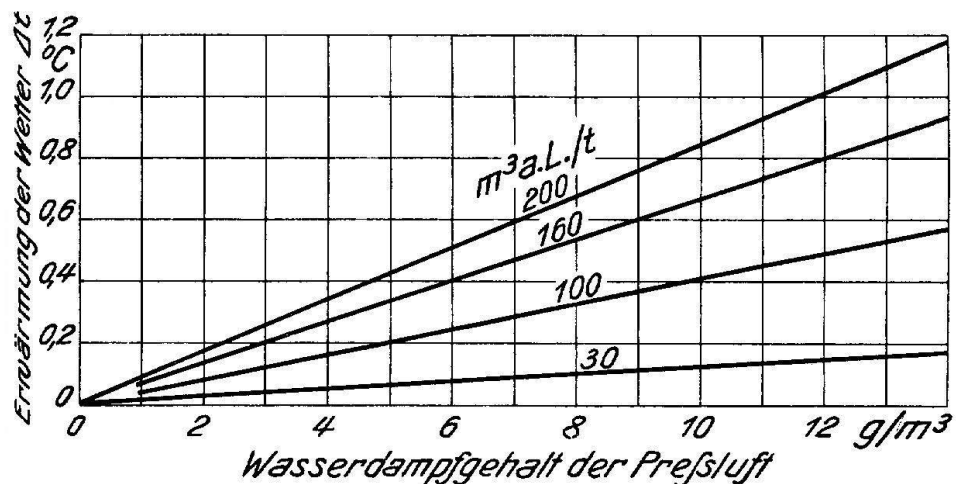
Zum anderen werden die Wetter um so mehr erwärmt, je höher die Menge der angesaugten Druckluft (Pressluft) ist ( $m^3$  a. L./t).



**Bild 1, Erwärmung der Wetter durch die Pressluft für verschiedene Pressluftmengen und Temperaturgefälle bei einer Wettermenge von  $2 \text{ m}^3/\text{min}$  je t Tagesförderung**

Die Erwärmung der Wetter durch Kondensation, die Ausscheidung von Wasser aus der Druckluft, ist geringer. Sie ist proportional der ausfallenden und nicht wieder verdunstenden Wassermenge.

Die Wassermenge ist abhängig von der Temperatur und dem Sättigungsgrad der angesaugten Wetter, der Temperatur des Kühlwassers bei der Zwischenkühlung und einer möglichen Nachkühlung, dem Temperaturgefälle zwischen der Druckluftleitung und dem Wetterstrom und von der Temperatur, auf die die Druckluft durch die Wetter herabgekühlt wird (2).



**Bild 2, Einfluss der Kondensationswärme auf die Wettertemperatur bei einer Wettermenge von 2 m³/min je t Tagesförderung**

**Bild 2** gibt einen Eindruck vom Ausmaß der Erwärmung durch die Kondensation des Wassers aus der Druckluft. Auch hier gibt es nach Fritzsche wieder zwei Proportionalitäten:

je höher der Wasserdampfgehalt der Druckluft ist, um so mehr Kondensationswärme entsteht und um so mehr werden die Wetter erwärmt

die Wetter werden um so mehr erwärmt, je höher die Menge der angesaugten Druckluft (Pressluft) ist.

Fritzsche gibt an, dass ein mit Druckluft ausgerüsteter Betrieb unter den genannten Bedingungen eine Temperaturerhöhung der Wetter zwischen 1°C und 5°C erfahren wird, während die dauerhafte Temperatursenkung durch die Expansion der Druckluft nur etwa 0,2°C betragen wird.

Diese Angaben beziehen sich natürlich auf den Fall, dass keine Klimatisierung mit Hilfe der Druckluft erfolgt (2).

Bei der Nutzung der Elektrizität wandelt sich ebenfalls der größte Teil der aufgewendeten Energie über die Reibung in Wärme um, außerdem wirken die Spannungsverluste im Zuleitungsnetz, Leerlaufverluste in den Umspannern usw., die sich ebenfalls in Wärme umsetzen.

Dazu kommt die Wärmeentwicklung aus der elektrischen Beleuchtung, die aber, bei den von Fritzsche genannten Bedingungen, nur bei etwa 0,25°C liegt und daher fast vernachlässigt werden kann.

Insgesamt wird eine Grube durch Nutzung der Elektrizität eine Erwärmung erfahren, die am unteren Ende der für die Druckluft genannten Skala liegt (2).

Plank (3) geht in seinem 1938 gehaltenen Vortrag auf den Zusammenhang zwischen Elektro- und Druckluftmotoren und der Wettererwärmung ein. Er gibt an, dass die Wärmeentwicklung verringert werden kann, wenn die Elektromotore durch Druckluftmotore ersetzt werden. Dieser scheinbare Widerspruch gegenüber Fritzsche löst sich dadurch, dass er unterstellt, dass die Druckluft den Motoren mit der Temperatur zugeführt wird, mit der die Wetter ausziehen, also Bedingungen, die nur mit zusätzlichen Maßnahmen zu erreichen sind.

Wenn die Druckluftmotore echte Hubarbeit leisten oder elektrischen Strom erzeugen, der außerhalb der Grube verbraucht wird, dann wird der Umgebung dauerhaft Wärme entzogen, so dass eine Kühlwirkung entsteht (Kaltluftmaschine) (3).

Auf den Einsatz von Kaltluftmaschinen wird unter **Punkt 7.2.1** näher eingegangen.

Für Voß (4) ist die Wärmeabgabe der Maschinen eine Größe, die bei der Klimaplanung von besonderem Gewicht ist. Die von elektrischen Betriebsmitteln aus dem Netz aufgenommene Energie wird in Wärme umgewandelt und an den Wetterstrom, der über die Betriebsmittel streicht, abgeführt.

Nach Voß (4) wird nur der kleinere Teil der Wärme trocken übertragen, mit dem größeren Teil wird Wasser verdunstet mit den oben schon erwähnten negativen Auswirkungen auf das Klima.

Voß gibt an, dass Dieselmotoren bei gleicher mechanischer Leistung wegen ihres schlechten Wirkungsgrades etwa dreimal so viel Wärme abgeben wie elektrische Betriebsmittel.

Wie schon bei der Wärmeabgabe aus dem Fördergut, ist die Wärmeaufnahme der Wetter wieder geringer als die Wärmeabgabe der Maschinen, weil der Wärmefluss aus dem Gebirge mit sinkender Temperaturdifferenz geringer wird (4). Voß rechnet damit, dass etwa 80% der Wärmeabgabe der Betriebsmittel kurz danach als Wärmeaufnahme der Wetter zu beobachten sind, und zwar zum überwiegenden Teil als latente Wärme aus dem Übergang des Wassers vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand.

Vor allem durch die Zunahme der Feuchtigkeit sind die Auswirkungen auf das Klima negativ (4).

Antriebe von Fördermitteln setzen nur etwa 10 – 15% ihrer Energie direkt an den Antrieben in Wärme um; der größte Teil wird erst – verteilt über die gesamte Länge des Förderers – durch Reibung in Wärme umgesetzt. Diese Wärme wird dann hauptsächlich zur Verdunstung von Wasser auf dem

beladenen Förderer genutzt (4).

### **Literatur:**

- (1) Schulz, W.: Die Bekämpfung hoher Grubentemperaturen (Auszug aus einem am 20.6.1932 im Haus der Technik in Essen gehaltenen Vortrag), Der Bergbau 1933, S. 1 - 5
- (2) Fritzsche, C.H.: Die Beeinflussung der Wettertemperatur durch Elektrizität und Pressluft im Steinkohlenbergbau, Glückauf 1935, S. 1217 - 1223
- (3) Plank, R.: Klima-Anlagen in Bergwerken, VDI-Zeitschrift 1939, S.1021 - 1028
- (4) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 48 - 51

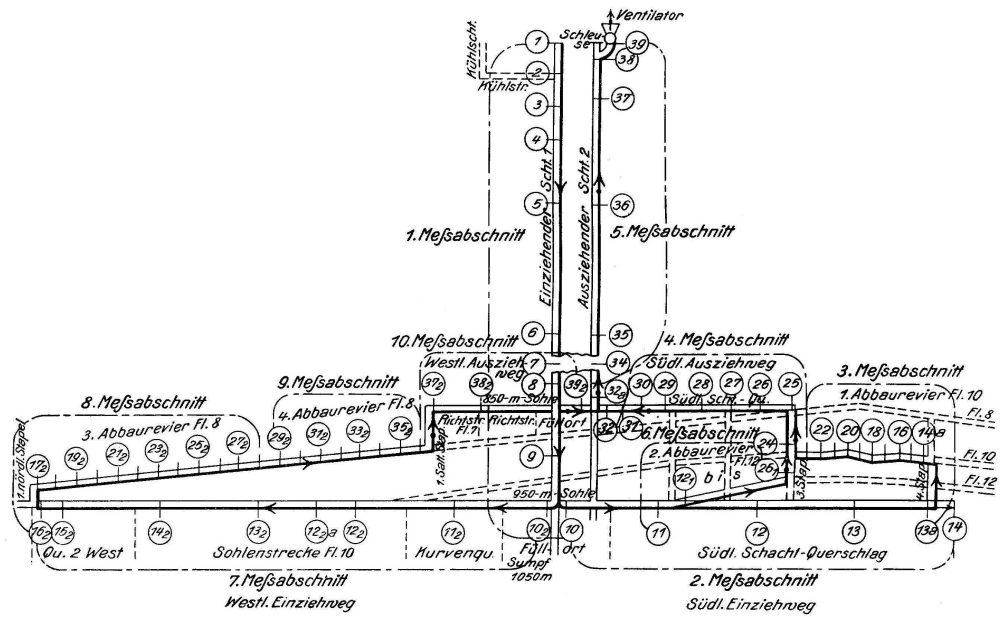
### **Bilder:**

**Bild 1** Erwärmung der Wetter durch die Pressluft für verschiedene Pressluftmengen und Temperaturgefälle bei einer Wettermenge von 2 m<sup>3</sup>/min je t Tagesförderung, Fritzsche, C.H.: Die Beeinflussung der Wettertemperatur durch Elektrizität und Pressluft im Steinkohlenbergbau, Glückauf 1935, S. 1219

**Bild 2** Einfluss der Kondensationswärme auf die Wettertemperatur bei einer Wettermenge von 2 m<sup>3</sup>/min je t Tagesförderung, Fritzsche, C.H.: Die Beeinflussung der Wettertemperatur durch Elektrizität und Pressluft im Steinkohlenbergbau, Glückauf 1935, S. 1219

### **3.12 Zusammenwirken der Wärmefaktoren auf der Zeche Sachsen**

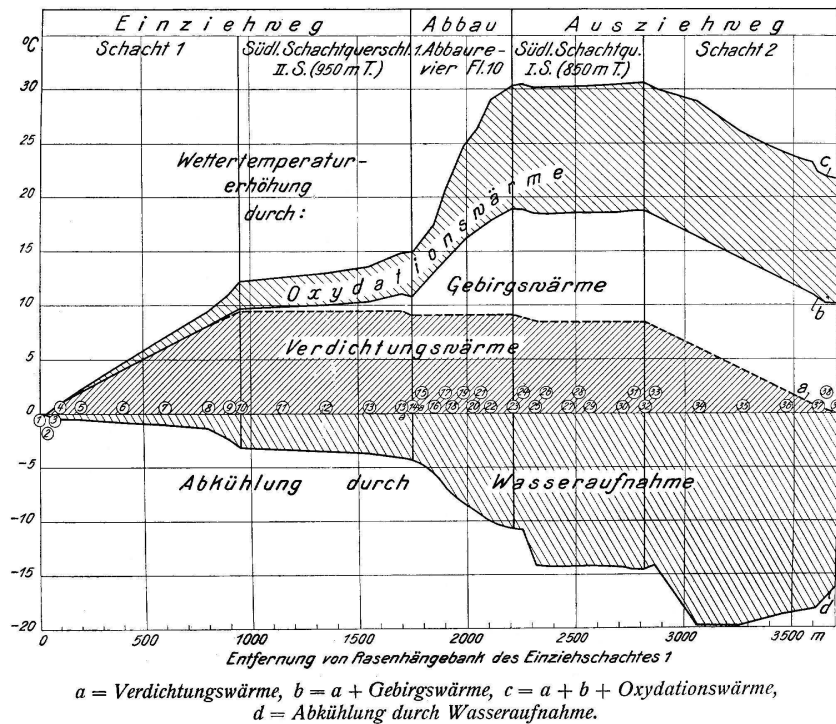
Von besonderer Bedeutung für das Verständnis über das Zusammenwirken der Klimafaktoren im Steinkohlenbergbau des Ruhrreviers waren die Untersuchungen, die Jansen (1)(2)(3) Mitte der 1920er Jahre auf der Zeche Sachsen durchführte. Er untersuchte den Wetterstrom an insgesamt 78 Messstellen (**Bild 1**).



**Bild 1, Schematische Darstellung der 10 Messabschnitte**

Ihm ist die Kenntnis der auf die Wetter wirkenden abkühlenden und erwärmenden Faktoren zu verdanken.

In **Bild 2** sind die Faktoren als Jahresdurchschnittswerte der Wetter auf ihrem Weg durch das Grubengebäude zusammengefasst.



**Bild 2, Anteil der Verdichtungs-, Gebirgs- und Oxydationswärme an der eigentlichen Gesamtwettererwärmung sowie Abkühlung durch Wasseraufnahme im Jahresdurchschnitt**

Der erste Messabschnitt wurde in den Einziehschacht 1 gelegt.

Die Verdichtungswärme erhöht sich in dem 950 m tiefen Schacht nach dem Poissonschen Gesetz um  $9,5^{\circ}\text{C}$ . Da die Erwärmung durch die Oxidation und die Abkühlung durch die Wasseraufnahme im Betrag in etwa gleich groß aber entgegengesetzt gerichtet sind, liegt die gemessene Temperaturerhöhung bei  $9^{\circ}\text{C}$  (*I*).

Die Gebirgswärme wirkte sich bei den Messungen auf der Zeche Sachsen im Einziehschacht kaum aus. Wegen der geringen Temperaturdifferenz zwischen dem Gebirge und einziehenden Wetter, die im oberen Teil des Schachtes nicht vorhanden ist und nur im unteren Schachtteil auf etwa  $3^{\circ}\text{C}$  steigt, und der hohen Wettermenge bewirkt die Gebirgswärme im Jahresdurchschnitt eine Temperaturerhöhung im Einziehschacht von lediglich  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Zum Zeitpunkt der Messungen war der Schacht bereits 12 Jahre alt und damit schon stark abgekühlt. Im unteren Schachtbereich, in dem auf Grund der Teufe die genannte Temperaturdifferenz gemessen wurde, wurden vom Gebirge etwa 12.000 kcal/Stunde Wärme an die Wetter abgegeben. Aus der hohen Wettermenge von  $180\text{ m}^3/\text{sec}$  resultierte daraus aber lediglich die Temperaturerhöhung um  $0,1^{\circ}\text{C}$  (*I*).

Die Oxidationswärme berechnete Jansen auf zwei Arten.

Einmal ist die Oxidationswärme gleich dem Rest aus der eigentlichen Gesamtwettererwärmung abzüglich der Verdichtungs- und Gebirgswärme. Die eigentliche Gesamtwettererwärmung ist die Summe aus der gemessenen Erwärmung – in diesem Fall die gemessenen  $9^{\circ}\text{C}$  – und dem Betrag der Abkühlung durch die Wasseraufnahme, errechnet aus der Zunahme des Feuchtigkeitsgehaltes der Wetter und der daraus resultierenden Abkühlung von  $1,7^{\circ}\text{C}$  je g aufgenommenes Wasser. Die Wasserdampfgehalte der Wetter ermittelte Jansen mit Hilfe der Psychrometertafel auf Grund der gemessenen Trocken- und Feuchttemperaturen. Auf die Ermittlung von Temperatur- und Klimawerten wird später noch eingegangen.

Für den konkreten Fall des Einziehschachtes 1 der Zeche Sachsen errechnete Jansen auf die Art eine Abkühlung durch Wasseraufnahme von  $3,4^{\circ}\text{C}$  (*I*).

Die eigentliche Gesamtwettererwärmung ergibt sich somit aus der Summe der gemessenen  $9^{\circ}\text{C}$  und dem Betrag aus der Abkühlung von  $3,4^{\circ}\text{C}$  also  $12,4^{\circ}\text{C}$ .

Zieht man von diesem Betrag die erwähnten Werte für die Verdichtungswärme ( $9,5^{\circ}\text{C}$ ) nach dem Poissonschen Gesetz und für die Gebirgswärme ( $0,1^{\circ}\text{C}$ ) ab, beträgt die Erwärmung durch Oxidation  $2,8^{\circ}\text{C}$ .

Die Gegenrechnung führte Jansen auf der Grundlage der Gasanalysen durch. Übertage betrug der durchschnittliche  $\text{CO}_2$  –Gehalt der Wetter  $0,03 - 0,04\%$ , auf der 950m-Sohle  $0,05 - 0,06\%$ , somit eine Zunahme im Schacht um  $0,02\%$ . Da, wie bereits Winkhaus bei seinen Untersuchungen auf der Zeche Radbod ermittelte, die Temperatur um  $1,4^{\circ}\text{C}$  bei einer Zunahme von  $0,01\%$   $\text{CO}_2$  – Gehalt steigt, ergibt sich auch für die gemessene  $\text{CO}_2$  –Zunahme im Schacht eine Temperaturerhöhung um den gleichen Wert von  $2,8^{\circ}\text{C}$  (*I*).

Da die Ergebnisse identisch sind, interpretiert Jansen daraus, dass für kurze Messabschnitte, in denen eine  $\text{CO}_2$  - Zunahme kaum messbar ist, das Maß der

Erwärmung aus der Oxidation durchaus nach der ersten Methode, das heißt der Differenz zwischen der eigentlichen Gesamtwettererwärmung und der Verdichtungs- und Gebirgswärme, zuverlässig ermittelt werden kann. Den Anteil der Oxidationswärme im Schacht 1 errechnete Jansen mit 22%, also relativ hoch und schnell zunehmend mit der Entfernung vom Tage (**1**). Die starke CO<sub>2</sub> – Bildung im Schacht erklärt Jansen mit der Oxidation der Kohle, vor allem des Kohlenstaubes mit seiner großen Oberfläche. Die beladenen Kohlenwagen werden mit einer Relativgeschwindigkeit von 20 bis 25 m/sec zu den Wettern gefördert. Der Kohlenstaub aus den Wagen wird aufgewirbelt und durchmischt sich innig mit den Wettern, wodurch die Oxidation der Kohle gefördert wird. Da die Kohlenwagen bei der Abfahrt auf der zweiten, der 950m-Sohle, am vollsten sind, wird der meiste Staub im unteren Schachtbereich oxidiert, was durch die dort herrschenden höheren Wettertemperaturen noch unterstützt wird (**1**). Aus **Bild 2** zeigt sich für die letzten 50 m des Schachtes eine besonders starke Erwärmung durch Oxidation. Diese liegt darin begründet, dass im Füllort der zweiten Sohle ständig 100 – 200 beladene Kohlenwagen stehen und beim Aufschieben der beladenen Kohlenwagen auf den Korb viel Feinkohle verstreut wird und oxidiert.

Die Abkühlung durch Wasseraufnahme im Schacht steigt in den feuchten Abschnitten.

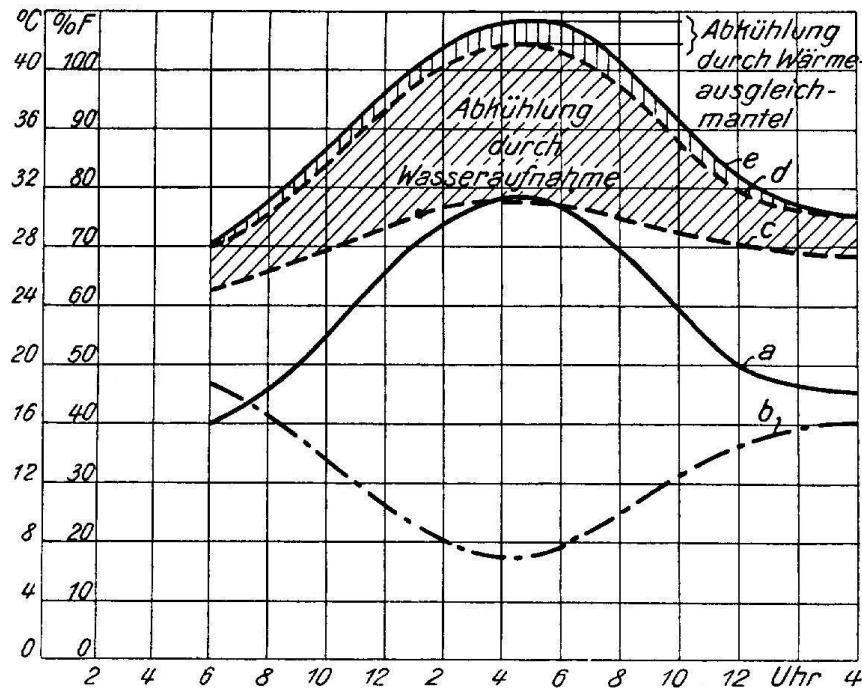
Das Wasseraufnahmevermögen der Wetter ist an warmen und heißen Tagen höher. Das zeigte sich auch an der Tatsache, dass das Füllort auf der 950m-Sohle im Winter und an Regentagen nass und an wärmeren Sommertagen trocken war (**1**).

Noch deutlicher zeigte sich der Effekt durch Messungen, die am 12. Juli 1924 über Tage und im Füllort der 850m-Sohle der Zeche Sachsen durchgeführt wurden.

Die Ergebnisse sind in **Bild 3** zusammengefasst.

An diesem Tag schwankten die Temperatur (Kurve **a**) und die relative Feuchte (Kurve **b**) über Tage stark.





*a = Temperatur und b = relative Feuchtigkeit übertage,  
 c = Temperatur am Füllort der 850-m-Sohle, d = c + Abkühlung  
 durch Wasseraufnahme, e = a + eigentliche  
 Gesamtwettererwärmung.*

**Bild 3, Abkühlung der Wetter durch Wärmeausgleichsmantel und Wasseraufnahme im Schacht 1 am 12. Juli 1924**

Die Wasseraufnahmefähigkeit der Wetter wächst mit der Zunahme der Tagestemperatur in zweifacher Hinsicht, weil neben der eigentlichen Temperaturzunahme auch das Absinken der relativen Feuchte zu einer höheren Wasseraufnahmefähigkeit führt. Entsprechend stark kommt es zur Abkühlung der Wetter durch die Verdunstung. Daraus resultieren bei Tagestemperaturen von 25 – 30°C und relativen Feuchten von 30 – 40% häufig Temperaturen im Füllort der 850m – Sohle, die niedriger sind als an der Rasenhängebank. Jansen erklärt – auf Grund der Messungen der trockenen und feuchten Temperaturen – dieses Phänomen mit der Wasseraufnahme und dadurch resultierenden Abkühlung der Wetter im Schacht 1 (**I**). Nur ein kleinerer Teil der Abkühlung entfällt danach auf die Wirkung des Wärmeausgleichsmantels.

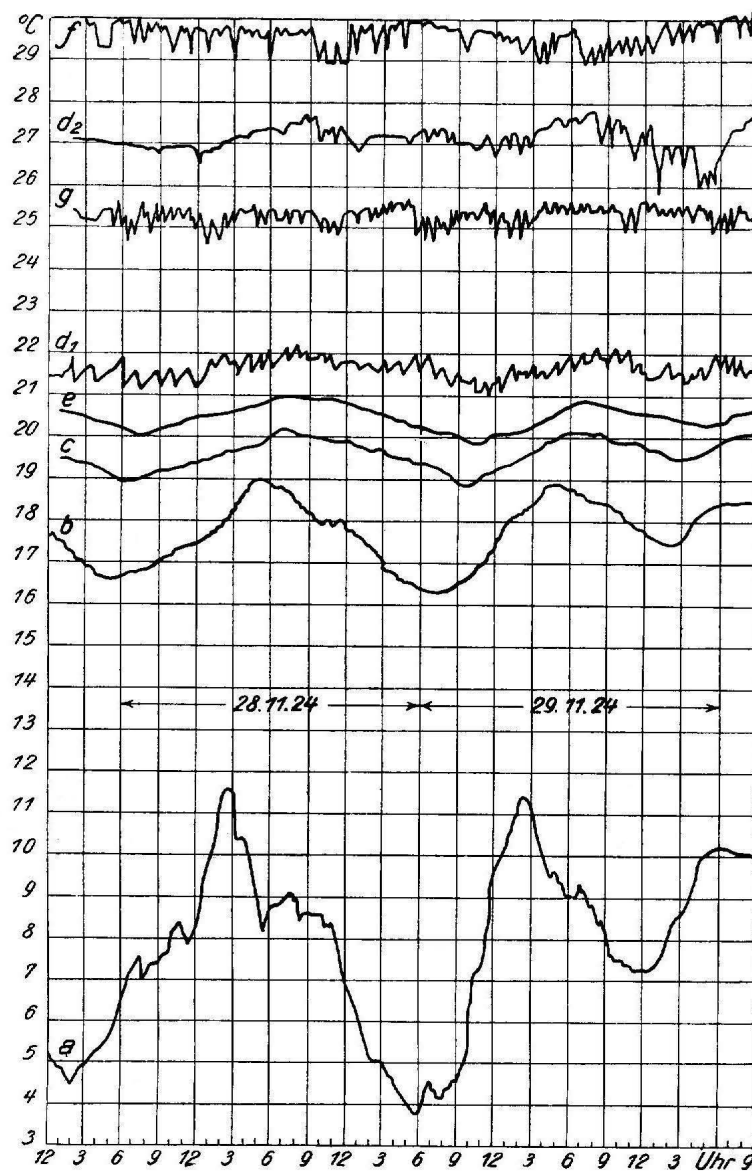
Analog zur Wirkung eines Wärmeausgleichsmantels erfolgt ein Temperatúrausgleich durch die Wasseraufnahme der Wetter im Schacht, somit ein Feuchtigkeitsausgleich (**I**).

Aus **Bild 3** wird deutlich, dass die Tagestemperaturen am 12. Juli 1924 zwischen 31,1 und 16,0°C schwanken, also um 15,1°C. Am Füllort der 850 m-Sohle war die Schwankung auf 6°C – zwischen 31 und 25°C – oder 40% zusammengeschrumpft.

Im Durchschnitt bedeutet das eine Abkühlung von 9,1°C, von der aber nur 1,8°C, also ein Fünftel, auf den Wärmeausgleichsmantel zurückzuführen ist.

Die Abkühlung von  $7,3^{\circ}\text{C}$  entfällt nach Jansen auf die Wasseraufnahme der trockenen und warmen Wetter (*I*).

Am 28. und 29. November 1924 führte Jansen Temperaturmessungen auf der Zeche Sachsen zwischen über Tage und dem Füllort der ersten Sohle (850 m-Sohle) des Ausziehschachtes 2 durch, die in **Bild 4** zusammengefasst wurden. Es zeigte sich, dass die Temperaturschwankungen abflachten und die Phasenverschiebungen zunahmen, je weiter die Messpunkte vom Tage entfernt waren (*I*). Auch hier wirkten, bezogen auf den Weg der Wetter durch fast das gesamte Grubengebäude, die bei **Bild 3** dargelegten Mechanismen des Temperaturausgleichs.



*a* übertage (0 m), *b* Füllort II. Sohle (950 m), *c* südl. Schachtquerschlag II. Sohle (1650 m), *d*<sub>1</sub> Flöz 10 Süden (1850 m), *d*<sub>2</sub> Flöz 12 Süden (1800 m), *e* 2. westl. Querschlag (1750 m), *f* Flöz 8 Westen (2400 m), *g* Füllort Schacht 2, I. Sohle (850 m).

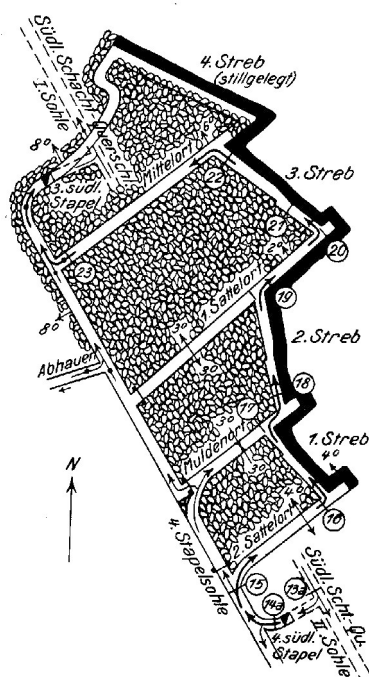
**Bild 4, Speicherung und Phasenverschiebung der Tagestemperaturschwankungen am 28. und 29. November 1924**

Im folgenden wird der weitere Weg der Wetter – nach Verlassen des Einziehschachtes 1 - durch das Grubengebäude beschrieben, wie er in **Bild 2** dargestellt ist. Dabei durchströmen die Wetter die Abschnitte:

- Südlicher Schachtquerschlag auf der II. (950 m)Sohle
- 1. Abbaurevier, Flöz 10
- Südlicher Schachtquerschlag auf der I. (850 m) Sohle
- Ausziehschacht 2.

Zunächst soll der Verlauf der Verdichtungswärme beschrieben werden. Die Verdichtungswärme bleibt dabei nach dem Erreichen des südlichen Schachtquerschlags auf der 950 m-Sohle konstant (**Bild 2**).

Die Wetter bewegen sich dann durch das 1. Abbaurevier in Flöz 10 (**Bild 5**), in dem die Verdichtungswärme durch die Aufwärtsführung der Wetter abnimmt (aus Gründen der Übersichtlichkeit wird dieses unter **Punkt 3.4** bereits gezeigte Bild noch einmal aufgeführt).



**Bild 5, Messabschnitt 3 (1. Abbaurevier, Flöz 10)**

Aus dem Abbaurevier erreichen die Wetter über einen Stapel- daraus resultiert der weitere Rückgang der Verdichtungswärme – den südlichen Schachtquerschlag auf der 1. Sohle (850 m-Sohle) (**Bild 2**). Hier tritt wegen der Söhligkeit keine Veränderung der Verdichtungswärme ein (**I**).

Im Ausziehschacht 2 wird die Erwärmung durch Selbstverdichtung bis zum Tage wieder rückgängig gemacht.

Die Gebirgswärme steigert die Wettertemperatur im südlichen Schachtquerschlag um  $2,7^{\circ}\text{C}$ , und damit erheblich gegenüber dem Schacht, obwohl die Länge und der Umfang des Querschlags geringer sind. Die Gründe dafür liegen zunächst in dem höheren Temperaturgefälle zwischen dem Gebirge und den durchströmenden Wettern, weil der Querschlag zum Zeitpunkt der Messungen erheblich jünger als der Schacht war und daher der Kältemantel – oder auch Wärmeausgleichsmantel - noch nicht so weit in das Gebirge vordringen konnte. Erwärmend wirkt auch die höhere Wärmeleitfähigkeit des Gebirges um den Querschlag im Vergleich zum Schacht (**I**).

Der entscheidende Faktor für die stärkere Temperaturerhöhung war jedoch die weitaus geringere Wettermenge, die den Querschlag durchströmte.

Die wesentliche Zunahme der Temperaturen durch die Gebirgswärme erfolgt im Abbau um  $8,3^{\circ}\text{C}$ . Die Heizfläche, als Produkt aus Umfang und Länge der Strecke, ist zwar kleiner, der Temperaturunterschied zwischen Gebirge und Wettern aber groß und die Wettermengen gering.

Der hohe Temperaturunterschied zwischen Gebirge und Wettern entsteht durch die geringe Lebensdauer der Baue- etwa alle 2 – 3 Tage wurde ein neues Feld verhauen – und durch die noch weiter verringerte Wettermenge (**I**).

Im südlichen Schachtquerschlag auf der 850 m-Sohle, also bereits auf der Abwetterseite, erfolgt eine Erwärmung der Wetter um nur noch  $2^{\circ}\text{C}$ , weil der Temperaturunterschied zwischen dem Gebirge und den Wettern sehr gering ist und große Wettermengen durch diesen Querschlag strömen.

Aus dem selben Grund tritt eine Veränderung der Wettertemperatur im Ausziehschacht 2 nur unwesentlich ein (**I**).

Die Oxidationswärme verursacht im südlichen Schachtquerschlag auf der 950 m- Sohle eine Gesamtwettererwärmung von  $1,3^{\circ}\text{C}$ , wenn sie als Differenz zwischen der eigentlichen Gesamtwettererwärmung und dem Anteil aus der Gebirgswärme errechnet wird.

Aus den Gasanalysen ergibt sich eine Zunahme des  $\text{CO}_2$  – Gehaltes um 0,01% auf der Länge des Querschlags. Daraus errechnet sich eine Erhöhung der Wettertemperatur um  $1,4^{\circ}\text{C}$ , somit fast identisch mit der Berechnung oben. Die Ursache für die  $\text{CO}_2$  – Bildung liegt wieder in der Ansammlung von Feinkohlen und Kohlenstaub von den vollen Kohlenwagen. An Wechsellern oder in Kurven, in denen ständig Kohle aus den Wagen fällt, kommt es zu einem sprunghaften Ansteigen des  $\text{CO}_2$  – Gehaltes und damit der Wettertemperaturen (**I**).

In dem 1. Abbaurevier, Flöz 10, nimmt der  $\text{CO}_2$  – Gehalt der Wetter um 0,045% zu, bedingt durch die verstreute Feinkohle während der Gewinnung, des Ladens und des Förderns und die Oxidation der Abbauverluste, die als Feinkohle im Versatz bleiben. Der Anstieg des  $\text{CO}_2$  – Gehaltes würde einen Anstieg der Wettertemperatur um  $4,5 \times 1,4 = 6,3^{\circ}\text{C}$  bedeuten.

Tatsächlich ergibt sich aus der Differenz zwischen der eigentlichen Gesamtwettererwärmung und der Gebirgswärme eine Erhöhung der

Wettertemperatur um 7,9°C. Dieser um 1,6°C höhere Wert resultiert aus der Erwärmung durch die Wärmeabgabe aus dem Haufwerk, das sich z.B. auf der Schüttelrutsche um 3 – 10°C abkühlt und dabei die Wärme an die Wetter abgibt (1).

Auf der Ausziehseite kommt es zu keiner weiteren Wettererwärmung durch CO<sub>2</sub> - Bildung, da hier keine Förderung umgeht und deshalb auch keine Kohle anfällt, die oxidieren könnte.

Die Wasseraufnahme im Schachtquerschlag von 1g/m<sup>3</sup> im Jahresmittel verursacht eine Abkühlung der Wetter um 1,7°C, erheblich weniger als im Einziehschacht. Wie bereits erwähnt, ist das Füllort auf der 950 m-Sohle der Zeche Sachsen nur bei feuchtem, kaltem Wetter nass. Nur in diesen Zeiten werden Wassertropfen von den Wetter in den Querschlag mitgerissen und verdunsten dort mit der abkühlenden Wirkung auf die Wetter. An warmen, trockenen Tagen verdunstet das zufließende Wasser bereits vollständig im Schacht. Der Effekt, dass höhere Wettertemperaturen zu einer vermehrten Wasserverdunstung, einem Feuchtigkeitsausgleich, führen, tritt hier kaum ein (1).

Im Abbau ist der Effekt des Feuchtigkeitsausgleichs zu erkennen, weil hier wieder Wasser aus dem Gebirge und aus dem Berieseln und Abbrausen an den Füllstellen vorhanden ist. Insgesamt verringert sich die Wettertemperatur im 1. Abbaurevier, Flöz 10 durch Wasserdampfaufnahme um 6,8°C.

Bei einem größeren Wasserangebot wäre in diesem Abbau eine noch größere Abkühlung der Wetter erfolgt, denn die relative Feuchte der Wetter nimmt auf ihrem Weg durch das 1. Abbaurevier, Flöz 10 um 7% ab und beträgt am Ende des Abbaus nur noch 44%. Dadurch liegt hier der Nasswärmegrad fast 8°C niedriger als die Trockentemperatur (1).

Wenn die Wetter das Ende des südlichen Schachtquerschlags auf der 850 m-Sohle erreichen, haben sie auf ihrem Weg durch die Grube etwa 9 g Wasser/m<sup>3</sup> Wetter aufgenommen. Daraus resultiert eine gesamte Abkühlung der Wetter durch Verdunstung bis zu diesem Punkt von rund 15°C.

Im Ausziehschacht kühlen sich die Wetter ab und erreichen eine Temperatur, bei der die vollständige Sättigung der Wetter eintritt. Die Kondensation des Wassers unterhalb des Taupunktes führt den Wetter Wärme zu und macht einen Teil der durch Verdunstung hervorgerufenen Wetterabkühlung wieder rückgängig (1).

Jansen fasst die Ergebnisse seiner Untersuchungen auf der Zeche Sachsen zusammen, vor allem unter dem Gesichtspunkt, die Arbeitsbedingungen zu verbessern, indem die Wettertemperaturen verringert werden (2).

Die Luftverdichtung steigert nach Poisson die Wettertemperatur um 1°C je 100 m Teufe, also um 9,5°C bis zur zweiten Sohle der Sachsen. Das entspricht einem Anteil von fast einem Drittel an der eigentlichen Gesamterwärmung (Gemessene Temperaturerhöhung plus Abkühlung durch Wasseraufnahme) von 31°C. Der Anteil ließe sich um einige Zehntel °C bei abfallender Bewetterung herabsetzen (2).

Die vom Gebirge abgegebene Wärme steigt mit dem Temperaturgefälle zwischen Gebirge und Wettern, der Wärmeleitfähigkeit des Gesteins und der Heizfläche des Wetterweges (Umfang x Länge).

Auf den einziehseitig durchströmten südlichen Schachtquerschlag entfallen 2,8°C Wettererwärmung durch die Gebirgswärme und auf den Abbau 7°C, zusammen somit etwa 10°C oder ebenfalls rund ein Drittel an der eigentlichen Gesamterwärmung von 31°C. Auf der Ausziehseite ist der Einfluss aus den oben genannten Gründen unerheblich.

Der Umfang des Wetterweges, der bei rundem Querschnitt relativ am kleinsten ist, schwankt in den Ein- und Ausziehwegen zwischen 10 und 30 m, im Abbau zwischen 6 und 11 m. In den ersten Strecken kann der Querschnitt wegen der bergpolizeilich vorgeschriebenen maximalen Wettergeschwindigkeit von 6m/sec, die teilweise schon überschritten wurde, nicht verringert werden. Im Abbau war, wie bereits erwähnt, eine Querschnittsverringering wegen der Förderung nicht möglich (2).

Die Länge des Wetterweges war nach Jansen nicht zu verkürzen, da die Zeche Sachsen Mitte der 1920er Jahre ohnehin noch nahe am Einziehschacht baute.

Die Oxidationswärme, die um so stärker wirkt, je mehr Kohle verstreut ist, je mehr und inniger die Feinkohle und der Kohlenstaub mit den Wettern in Berührung kommen, je undichter der Bergeversatz und je höher die Wettertemperatur ist, stellt mit fast 12°C den stärksten erwärmenden Einfluss dar. Den auf die Einziehseite entfallenden Anteil von 4,1°C könnte man fast vollständig vermeiden, wenn durch den Einziehstrom keine Kohle gefördert würde. Im Abbau kann die Oxidationswärme kaum vermieden werden (2).

Die durch Oxidations- und Gebirgswärme verursachte Erhöhung der Wettertemperatur, die zusammen mehr als zwei Drittel der Gesamterwärmung ausmacht, steht im umgekehrten Verhältnis zur Wettermenge (2).

Die Abkühlung der Wetter durch Wasseraufnahme, die umso stärker ist je höher die Wassermenge und die Lufttemperatur und je niedriger die relative Feuchte und die Wettermenge sind, beträgt 20°C; gegenläufig beträgt die Erwärmung durch Wasserkondensation im Ausziehschacht 4°C. Diese Wettererwärmung spielt für die Ausziehschächte keine Rolle. In Blindschächten kann sich die Wettererwärmung ungünstig auswirken, wenn die Wetter anschließend durch die Grubenbaue ziehen.

Die Verdunstungskälte übt vom Betrag her den größten Einfluss auf die Wettertemperatur aus und bewirkt, dass trotz der 31°C betragenden Gesamterwärmung, als Folge des Einflusses der Verdichtungswärme, der Gebirgswärme und der Oxidationswärme, die Wettertemperaturen im Jahresdurchschnitt in den Abbaubetrieben nicht über 28 °C steigen(2).

## **Literatur:**

(1) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.1 - 12

(2) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.51 - 58

(3) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.83 - 97

## **Bilder:**

**Bild 1** Schematische Darstellung der 10 Messabschnitte, Jansen,F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 4

**Bild 2** Anteil der Verdichtungs-, Gebirgs- und Oxydationswärme an der eigentlichen Gesamtwettererwärmung sowie Abkühlung durch Wasseraufnahme im Jahresdurchschnitt, Jansen,F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 7

**Bild 3** Abkühlung der Wetter durch Wärmeausgleichsmantel und Wasseraufnahme im Schacht 1 am 12. Juli 1924, Jansen,F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 9

**Bild 4** Speicherung und Phasenverschiebung der Tagestemperaturschwankungen am 28. und 29. November 1924, Jansen,F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 10

**Bild 5** Messabschnitt 3 (1. Abbaurevier, Flöz 10), Jansen,F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 51

#### **4. Auswirkungen des Grubenklimas auf den Menschen**

Bevor auf die Entwicklung im Einzelnen eingegangen wird, soll vorab kurz dargestellt werden, welche neueren Erkenntnisse zur Thermoregulation des Menschen vorliegen.

Die im Körper gebildete Wärme gelangt zum kleineren Teil durch Wärmeleitung in den Geweben, zum größeren Teil durch Wärmetransport auf dem Blutweg an die Körperoberfläche (27).

Während die Gesamtdurchblutung der Haut im thermoneutralen Bereich bei 0,2 bis 0,5 l/min liegt, kann sie bei extremer Wärmebelastung in Ruhe 4 l/min überschreiten (27).

Insgesamt ist die Thermoregulation als Regelkreis darstellbar (28). Die geregelte Größe dabei ist die Innentemperatur des Körpers, die Kerntemperatur. Ihr Istwert wird durch Kerntemperaturfühler gemessen und mit dem Sollwert verglichen; Abweichungen aktivieren die Stellglieder der Wärmeabgabe, so dass die Abweichungen der Kerntemperatur begrenzt werden (28). Dabei ist die Aktivität der Stellglieder proportional zur Regelabweichung.

Der Istwert der Körperkerntemperatur – gemessen durch Thermosensoren an verschiedenen Stellen im Körperkern – wird durch innere Störgrößen – zum Beispiel erhöhte Wärmeproduktion durch Arbeit – verändert, so dass der Regler im Hypothalamus (eine Region im Zwischenhirn) eine Regelabweichung vom Sollwert registriert und die Wärmeregulation koordiniert (28).

Im Hypothalamus werden Hormone gebildet, unter anderem  $\alpha$ -MSH, das im Zentralnervensystem als Neuromodulation Einflüsse auf die Thermoregulation des Menschen ausübt (28).

Es werden die oben angesprochene Verstärkung der Hautdurchblutung und die Verstärkung des thermoregulatorischen Schwitzens als wärmeregulierende Stellglieder aktiviert (27).

##### **4.1 Frühe Erkenntnisse bis zur Änderung des Allgemeinen Berggesetzes 1905**

Nasse berichtet bereits im Jahr 1888 (1) über Temperatur- und Feuchtigkeitsmessungen, die seit 1882 an der Saar und im Ruhrrevier durchgeführt wurden, allerdings in erster Linie unter dem Aspekt der Feuchtigkeit der Kohle und damit der Kohlenstaubbinding.

Die Frage der Klimabelastung des Bergmannes wird dabei (1) noch nicht thematisiert. Sie war allerdings noch nicht so drängend, weil die Messungen in den damals üblichen Teufen von unter 500 m durchgeführt wurden, so dass die gemessenen Trockentemperaturen auch im Abbau selten über 26°C lagen, bei allerdings hoher Luftfeuchtigkeit.



In den folgenden Jahren nahm die Tiefe und Ausdehnung der Grubengebäude zu, so dass erste Vorschläge zur Beeinflussung des Grubenklimas gemacht wurden (2).

Ausfluss der Klimaproblematik war dann der Gesetzentwurf der preußischen Regierung vom 8. März 1905, in dem unter anderem die Schichtzeit unter Klimabelastungen, bekannt geworden als „sanitärer Maximalarbeitstag“, geregelt werden sollte (3).

In den Begründungen zu dem Gesetzentwurf wurden die grundsätzlichen Einflussfaktoren, die das Ausmaß der Klimabelastung für den Menschen ausmachen, nämlich Temperatur, Feuchtigkeit und Wettergeschwindigkeit, bereits angesprochen.

In der dem Gesetzentwurf beigegebenen Begründung heißt es (3): „Es kann aber keinem Zweifel unterliegen, wenn es auch statistisch kaum nachweisbar ist, dass die Körperkräfte eines Steinkohlenbergmannes in warmen Gruben mit einer Luft von hohem Feuchtigkeitsgehalt sich bei gleicher Arbeitszeit schneller abnutzen als in kühlen Gruben, und dass der Arbeiter infolgedessen auch der Gefahr einer Erkrankung und vielleicht auch der Gefahr zu verunglücken leichter ausgesetzt ist.“

Am 27. März 1905 erklärte der Handelsminister ergänzend (3): „Aber die Wärme allein ist nicht maßgebend. Wir erkennen vollständig an, dass wir auch mit der Wärmegrenze allein nicht zu richtigen regelmäßigen Erscheinungen werden kommen können. Die Nässe der Gruben, die Feuchtigkeit der Luft in den Gruben, die Bewegung der Luft in den Gruben sind wesentliche Faktoren, die mitwirken. Es wäre aber unmöglich gewesen, aus all diesen Faktoren, die tatsächlich hygienisch einwirken, eine Formel zu finden, die wir gesetzlich festlegen können.“

Heise und Herbst (3) nehmen den Gesetzentwurf zum Anlass, sich grundsätzlich mit der Klimabelastung der Bergleute auseinander zu setzen.

Heise und Herbst unterteilen die Wärmeeinwirkung auf den menschlichen Körper in Wärmeleitung, Verdunstung des Schweißes und Wärmestrahlung. Da der Artikel sich in erster Linie mit Fragen der Feuchtigkeit in den Wettern beschäftigt, gehen sie auf die Wärmestrahlung aus dem Gebirge nicht näher ein.

Auf die Wärmeleitung wirkt der Wetterzug positiv ein, weil er ständig die erwärmte Luft aus der unmittelbaren Nähe des Menschen wegführt. Dadurch kann die Wärmeabgabe aus dem menschlichen Körper in die Wetter kontinuierlich erfolgen.

Bei der Abkühlung des Körpers durch Verdunstung des Schweißes spielt die Feuchtigkeit der Wetter eine entscheidende Rolle, auf diesen Zusammenhang wird später noch näher eingegangen. Grundsätzlich weisen Heise und Herbst bereits darauf hin, dass die Verdunstung des Schweißes und damit die Abkühlung umso stärker ist je geringer die Wetter mit Wasser gesättigt sind (3).

Auch Rossenbeck und Rath (4) weisen 1911 auf diese Zusammenhänge hin und erwähnen, dass sich die Bergleute ungern auf Zechen mit ungünstigen Klimabedingungen anlegen lassen. Diese Bergwerke beklagen eine hohe Fluktuationsrate und daraus resultierend betriebliche Störungen und steigende Unfallziffern.

Die Beschreibung der Zusammenhänge war bis zum ersten Weltkrieg offensichtlich eher qualitativer Natur. Eine Quantifizierung fand sich in den Quellen zum Ruhrbergbau nicht.

## 4.2 Die Entwicklung in den 1920er Jahren

*Die Beherrschung der Klimaverhältnisse war natürlich für die in den damaligen Jahrzehnten abgeteuften tiefen Gruben im östlichen Ruhrrevier von besonderer, in gewisser Weise existentieller, Bedeutung.*

*Es erscheint deshalb logisch, dass auf den tiefen Gruben des östlichen Ruhrgebiets große Anstrengungen unternommen wurden, um die Klimaproblematik erstens zu verstehen und im weiteren zu beherrschen. Die Bemühungen zeigten aber durchaus Erfolge.*

So berichtet Stapff im Jahr 1922 (26), dass die wettertechnischen Maßnahmen auf der Zeche Radbod dazu führten, dass der Anteil der Kohlenhauer in verkürzter Schicht auf Grund hoher Temperaturen von 83% im Juni 1921 auf 15,6% im Juni 1922 verkürzt werden konnte.

Winkhaus führte im Rahmen seiner grundlegenden Untersuchungen auf der Zeche Radbod im Jahr 1922 den Begriff des „Nasswärmegrades“ ein, um den Zustand der Wetter mit den Einflussparametern Wärme und Feuchtigkeitsgehalt zu beschreiben (5). Er geht dabei von der Wirkung der Wetter auf den Menschen aus.

Nach Winkhaus hat der Einfluss der Feuchtigkeit, als dem weiteren wichtigen Parameter neben der Temperatur, bis Anfang der 1920er Jahre nicht die ihm entsprechende Würdigung erfahren. Das galt besonders auch für die Beschreibung von Klimagrenzen in der Gesetzgebung, die sich nur an der Trockentemperatur orientierte.

Um den Effekt der unterschiedlichen Feuchtigkeitswerte für den Menschen zu verdeutlichen, zeigt Winkhaus auf, wie die Kühlung des menschlichen Körpers erfolgen kann.

Neben der unmittelbaren Wärmeüberleitung vom Körper in die Wetter und der Wärmestrahlung, die aber bei hohen Gesteinstemperaturen bzw. warmen Grubenwettern nicht oder nur eingeschränkt möglich sind, kann dem menschlichen Körper Wärme durch Verdunstung des Schweißes entzogen werden.

Der arbeitende Bergmann kann in einer Schicht mehrere Liter Schweiß entwickeln.

Die Verdunstung und damit Kühlung des Körpers funktioniert natürlich nur dann, wenn die Wetter trocken genug sind, um zusätzliche Feuchtigkeit aufzunehmen (5).

Sind die Wetter bereits vollständig gesättigt, wird sich die Körpertemperatur trotz der Schweißentwicklung langsam erhöhen.

Sind die Wetter trocken genug, kann der Kühlungseffekt kontinuierlich erfolgen, wenn die Wetterbewegung groß genug ist, um die Wetter mit dem erhöhten Feuchtigkeitsgehalt abzuleiten.

Andererseits werden die Wetter bei der gewählten Hypothese wegen der höheren Temperatur die Haut erwärmen, gegenläufig zu der Abkühlung durch Verdunstung.

Die Hauttemperatur wird sich einer Temperatur nähern, die zwischen dem Taupunkt des Schweißes und der Wettertemperatur liegt.

Diese Temperatur ist mit dem feuchten Element des Psychrometers zu messen und wird von Winkhaus als „Nasswärmegrad“ bezeichnet (5).

Der Nasswärmegrad gibt die Temperatur an, bis zu der ein Wetterstrom mit bestimmter Temperatur und bestimmtem Feuchtigkeitsgehalt eine feuchte Fläche durch Verdunstung abkühlt.

Die Hautwärme wird dann zwischen der Körpertemperatur und dem Nasswärmegrad liegen, dem sie sich um so mehr nähert, je heftiger der Wetterzug und damit die Verdunstung ist.

Ein steigender Feuchtigkeitsgehalt verringert die Kühlwirkung sehr stark, bis bei vollständiger Sättigung nur noch das Temperaturgefälle und die Wettergeschwindigkeit, und nicht mehr die Verdunstung, zur Abkühlung beitragen (5).

In den 1920er Jahren führte Jansen (6, 7, 8) auf der benachbarten Zeche Sachsen umfangreiche Messungen und Untersuchungen durch.

Jansen geht in der Interpretation seiner Messergebnisse wie Winkhaus von der Wirkung der Temperatur auf den Menschen aus.

Von der durch Oxidation der Nahrungsstoffe entwickelten Wärme wird bei einem Wirkungsgrad von etwa 30% rund ein Drittel für die Muskelarbeit verbraucht; die übrige Wärmemenge muss nach außen abgeführt werden, soll es nicht zu einem Wärmestau im Körper kommen.

Das Befinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen werden daher im wesentlichen durch die Entwärmung bestimmt (8).

Da in den tiefen Gruben die Umgebungstemperatur teilweise sogar höher liegt als die Körpertemperatur des Menschen, wird die Arbeit nur wegen der Verdunstung des Schweißes möglich.

Wie bereits angesprochen, werden Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit in warmen Wettern von der Wasseraufnahmefähigkeit der Wetter bestimmt, die neben der Temperatur vom relativen Feuchtigkeitsgehalt abhängt (8).

Der Nasswärmegrad charakterisiert nach Jansen zwar die gemeinsame Wirkung von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit gut. Für die tatsächliche Beurteilung der Klimabelastung für den Menschen muss jedoch die Wettergeschwindigkeit zusätzlich betrachtet werden. Das Psychrometer bestimmt die Feuchttemperatur immer durch einen gleich starken Luftstrom. Tatsächlich wechseln die Wettergeschwindigkeiten, denen der Bergmann ausgesetzt ist, sehr stark (8).

An Arbeitsplätzen im Windschatten, im Kerb oder in großen Hohlräumen ist häufig fast keine Wetterbewegung messbar. Dadurch erwärmt sich die Luftschicht um den Bergmann herum immer mehr, und durch den verdunstenden Schweiß erhöht sich der Feuchtigkeitsgehalt. Beide Umstände führen zu einer Verringerung der Kühlwirkung der Wetter. Die Bergleute arbeiten unter diesen Bedingungen mit möglichst wenig Bekleidung, damit die Wetter möglichst unmittelbar auf die Haut einwirken können (8).

Ein Versuch mit Studenten an der Universität Breslau macht den Einfluss der Wettergeschwindigkeit auf das Befinden des Menschen deutlich.

Winkhaus (9) schreibt im Jahr 1923 dazu in diesem Zusammenhang: „Diese Bedeutung wird durch einen an der Universität Breslau angestellten Versuch überzeugend dargetan. In einem mit elektrisch angetriebenen Ventilatoren versehenen, luftdicht abgeschlossenen Raum wurden sieben Studenten so lange eingeschlossen, bis ein Kerzenlicht erlosch. Der Sauerstoffgehalt der Luft war hierbei auf 16% zurückgegangen, der Kohlensäuregehalt auf 3% gestiegen, während der Nasswärmegrad 28,2°C betrug.

Die eingeschlossenen Personen fühlten sich sehr unwohl, das Gesicht war gerötet, Haut und Kleidung durchnässt und der Puls auf 97 Schläge in der Minute beschleunigt. Auch die unmittelbare Einatmung von frischer Luft, die durch Rohre von außen zugeführt wurde, vermochte nicht die Beschwerden der Eingeschlossenen zu verringern. Setzte man jedoch die Ventilatoren in Tätigkeit und brachte hierdurch die verdorbene Luft in Bewegung, so empfanden sie eine unmittelbare Erleichterung, und der gewöhnliche Pulsschlag von 79 Schlägen in der Minute stellte sich wieder ein, ohne dass frische Luft zugeführt wurde.

Diese unmittelbare Einwirkungsmöglichkeit der Wettergeschwindigkeit ist bisher ganz unberücksichtigt geblieben. Zwar ist von mir darauf hingewiesen worden, dass ihr Einfluss auf die Kühlwirkung eines Wetterstromes nicht gering zu veranschlagen sei, jedoch fehlte ein Maßstab, an Hand dessen man ihn feststellen oder gar unmittelbar hätte messen können.“

Für die Zeche Sachsen berichtet Jansen (8), dass die Bergleute an Betriebspunkten, an denen keine Wetterführung zu spüren war, das drückende Gefühl und die geringe Leistung übereinstimmend mit den Worten begründeten: „Hier ist ja keine Wetterführung.“ Bei höherer Wettergeschwindigkeit verspürten sie eine durch die stärkere Schweißverdunstung verursachte erfrischende Wirkung.

Im Jahr 1926 berichtet Wintermeyer (10) über die wissenschaftliche Beschäftigung mit dem Einwirkungen hoher Temperaturen auf den Menschen.

Er geht dabei unter anderem auf die Arbeiten von Flügge ein, der bei der Untersuchung der Verhältnisse in geschlossenen Räumen bei wechselnden Temperaturen zu dem Ergebnis kam, dass die thermischen Gegebenheiten für das Wohlbefinden des Menschen von erheblich größerer Bedeutung sind als die chemische Beschaffenheit der Luft (10).

Es ist in den genannten Untersuchungen **(10)** auch ermittelt worden, dass ein gesunder Körper in einer Stunde leicht 1 kg Schweiß absondern kann, wenn er genügend Flüssigkeit zu sich nimmt.

Es wurde aber auch schon erkannt, dass bei der Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit keine Schweißverdunstung eintreten kann und die Temperatur des Körpers trotz Schweißabsonderung langsam zunimmt, mit den negativen Auswirkungen auf das Wohlbefinden des Menschen.

Wintermeyer **(10)** erwähnt in diesem Zusammenhang auch Untersuchungen zu physiologischen Fragen, das heißt zu den Einwirkungen der hohen Wettertemperaturen auf den einzelnen Menschen, die unter anderem in England in diesen Jahren erfolgt sind.

Über diese Untersuchungen berichtet Winkhaus im Jahr 1924 **(11)**. Prof. Moss hatte im Jahr 1923 den sechsten Bericht eines Ausschusses zur Beobachtung der Wetterverhältnisse in heißen und tiefen Gruben an der „English Institution of Mining Engineers“ veröffentlicht **(11)**.

Während sich die ersten Berichte hauptsächlich mit physikalischen Fragen befasst hatten, beschäftigte sich dieser Bericht mit physiologischen Fragen, mit den Einwirkungen hoher Wettertemperaturen auf den einzelnen Bergmann. In die Untersuchung **(11)** sind 70 bis 80 Bergleute aus verschiedenen englischen Bergbaubezirken einbezogen worden.

Die tägliche Flüssigkeitsaufnahme der Bergleute stieg bei Wettertemperaturen über 21°C stark an.

Von besonderer Wichtigkeit war die Tatsache, dass der Genuss von Natriumchlorid bei höheren Temperaturen stark zunahm, wie aus der Tabelle hervorgeht **(11)**:

Temperatur vor Ort [°C]	Salzgehalt der Nahrung [g]
37	16,9
31,5	16,8
26	16,3
20	12,1
18,5	11,3
15	10,9
13	12,8

Erstmals sind in den Untersuchungen **(11)** messbare Größen der Arbeitsleistung eines einzelnen Bergmannes bestimmt worden. Moss hat sich mit den wichtigen physikalischen Mitteln befasst, die dem menschlichen Körper für die Temperaturregulierung zur Verfügung stehen, die wegen des Wärmeüberschusses auf Grund der gesteigerten Ernährungsumsatzes bei schwerer körperlicher Arbeit erforderlich wird.

In kühler Luft beeinflusst die Geschwindigkeit, mit der das Blut der Haut zugeführt wird, die Entwärmung des Körpers durch Wärmeleitung und –strahlung sehr stark **(11)**.

Sobald der Bergmann jedoch bei einer Temperatur arbeitet, die gleich oder größer als die Körpertemperatur ist, kann nach Moss eine Entwärmung nur

durch die Verdunstung von Wasser durch die Lunge, die Atemwege und die Haut erzielt werden.

Dass die Körpertemperatur trotzdem anstieg, lag nach Moss daran, dass die Wärmeabführung mit der außergewöhnlichen Wärmeerzeugung nicht Schritt halten konnte.

Die Untersuchungen (*II*) ergaben aber besonders, dass ungewöhnte Arbeiter nicht annähernd solche Schweißmengen absonderten wie die an Hitzearbeit gewöhnten Arbeiter.

Bei Untersuchungen (*II*) an heißen Betriebspunkten schwitzten daran gewöhnte Arbeiter 1,5 bis 0,75 Liter/Stunde aus.

Ungewöhnte Arbeiter schieden höchstens 0,5 Liter Schweiß/Stunde aus und nach einem Monat höchstens 1 Liter/Stunde.

Am Ende der Schicht waren diese Arbeiter gar nicht mehr in der Lage, Schweiß abzusondern und in den letzten beiden Stunden der Schicht kaum noch zu einer Arbeit fähig.

Selbst bei Arbeitern, die an Hitzearbeit gewöhnt waren, trat dieser Effekt nach mehreren Feierwochen auf, verschwand aber nach wenigen Tagen wieder. Es wurde nach Moss deutlich, dass die Gewöhnung an Arbeiten an heißen Betriebspunkten eine große Rolle spielt (*II*).

Diese Feststellungen wurden durch Untersuchungen an der Universität Birmingham ergänzt (*II*). Da der Schweiß der Menschen erhebliche Mengen an Salz enthält, wurde dort die Salzabscheidung der Bergleute an Betriebspunkten in heißer Umgebung wissenschaftlich untersucht. Als Versuchsraum diente eine abgeschlossene Kammer, die auf 55°C erhitzt werden konnte; als Leistungsmesser diente ein Fahrrad-Ergometer.

Die wichtigsten Ergebnisse waren (*II*):

- Bei gleichbleibender Temperatur und Feuchtigkeit ist jede Steigerung der Arbeitsleistung mit einer Zunahme der Schweißabsonderung und mit einer Erhöhung des Natriumchloridgehaltes im Schweiß verbunden. Die selben Folgen hat bei gleichbleibender Arbeitsleistung eine Zunahme der Temperatur. Die erhebliche Salzabscheidung ist nach Moss wahrscheinlich der Grund für die stark salzhaltige Kost der in tiefen Gruben arbeitenden Bergleute.
- Die von einem an harte Arbeit bei hohen Temperaturen gewöhnten Bergmann abgeschiedene Schweißmenge ist erheblich höher als die eines Menschen, der sich den Verhältnissen gerade so angepasst hat, dass er die Arbeit überhaupt verrichten kann. Der an Hitzearbeit gewöhnte Bergmann gab unter gleichen Bedingungen mehr als die doppelte Schweißmenge ab.
- Von Bedeutung ist die Verteilung der Salzabsonderung auf die Nieren und die Schweißdrüsen. Bei der Steigerung der Arbeit in hohen Temperaturen konnte eine starke Zunahme der Salzabscheidung durch die Schweißdrüsen festgestellt werden.

Winkhaus (II) geht auf weitere Untersuchungen ein, die sich auf die Krampferscheinungen beziehen, die in tiefen, trockenen Gruben auftraten. Die Erscheinung besteht in einer krampfartigen Zusammenziehung der bei der Arbeit besonders angestregten Muskeln, zum Beispiel in den Armen, den Beinen oder auch im Unterleib, wobei sich dann die Bauchmuskeln zu einem Klumpen in Faustgröße zusammenziehen können. Die Krampferscheinung tritt meistens bei Arbeitern von schwächlichem Körperbau gegen Ende der Schicht auf.

Untersuchungen (II) ergaben, dass die Krampferscheinungen durch den hohen Verlust an Chloriden hervorgerufen werden, der durch das starke Schwitzen auftritt. Tatsächlich zeigte eine von einem Kranken genommenen Urinprobe keine Spur von Chloriden mehr.

Krampferscheinungen können nach Winkhaus nur dann auftreten, wenn zu viel Wasser aufgenommen wird, was über die Schweißabgabe zur Entsalzung des Körpers führt.

Deshalb war das Phänomen der Krampferscheinungen nur in trockenen Gruben beobachtet worden (II), während in den feuchten Gruben mit hohen Nasswärmegraden keine Fälle bekannt waren. Die hohe Luftfeuchtigkeit verhindert in solchen Gruben das Austrocknen der Kehle, so dass die Bergleute nicht so viel Wasser aufnehmen wie in trockenen Gruben.

Nach den Ergebnissen war es logisch, dass die „Wasservergiftung“ der Bergleute dadurch verhindert werden kann, dass den Getränken Salz zugegeben wird, mit dem der Chloridverlust durch die Schweißabsonderung ausgeglichen wird (II).

Tatsächlich haben damals Versuche in England zu guten Ergebnissen geführt.

Eine Gruppe von Bergleuten, von denen ein Teil zu Krampferscheinungen neigte, bekam für einen Versuchszeitraum Trinkwasser mit einem Kochsalzanteil von 2,6 g/l (II). Krampferscheinungen traten nicht mehr auf, die starke Übermüdung am Ende der Schicht verschwand, und die Arbeiter fühlten sich auch nach der Schicht noch frisch. Dabei konnte teilweise eine erhebliche Leistungszunahme festgestellt werden.

Besonders gute Wirkungen konnten durch eine Mischung des Salzzusatzes aus sechs Teilen Natriumchlorid und vier Teilen Kaliumchlorid – entsprechend dem Salzgehalt des Schweißes – erzielt werden (II).

Ein Teil der Bergleute der heißen Pendleton-Grube hatte bereits vorher eine ähnliche Idee, indem sie ihrem Trinkwasser eine geringe Menge Weinstein ( $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ) als Vorbeugung gegen Krampferscheinungen zusetzten.

*Auf der Grundlage der Untersuchungen und wissenschaftlichen Arbeiten, vor allem in den 1920er Jahren, waren die grundsätzlichen Zusammenhänge der Wirkung des Grubenklimas auf den Menschen bekannt (12).*

*Erhöhte Temperaturen belasten den Bergmann dadurch, dass sie den Wärmeaustausch seines Körpers erschweren. Bei einem gesunden Menschen liegt die Körpertemperatur bei 37°C.*

*Die durch den Energieumsatz erzeugte Wärme wird, sofern sie überschüssig ist, an die Umgebung abgegeben, und zwar durch Leitung, Konvektion,*

*Strahlung und Verdunstung (12). Mit der Schwere der körperlichen Arbeit nimmt der Ernährungsumsatz und damit die Erwärmung des Körpers zu, so dass dadurch eine stärkere Wärmeabfuhr erforderlich ist.*

*Die überragende Bedeutung hat dabei die Verdunstung (12); bei höheren Temperaturen hört die Wärmeabfuhr durch Leitung, Konvektion und Leitung ganz auf, und es bleibt nur die Verdunstung für die für die Entwärmung übrig.*

*Die Verdunstung ist jedoch nur dann möglich, wenn sich die Wetter bewegen und trocken genug sind, um noch Feuchtigkeit aufzunehmen. Daraus ergibt sich die Bedeutung der neben der Temperatur wichtigen Klimafaktoren Wettergeschwindigkeit und Feuchtigkeitsgehalt.*

#### **4.3 Die Entwicklung nach dem 2. Weltkrieg**

Die Beschäftigung mit Wetter- und Klimafragen im deutschen Steinkohlenbergbau wurde erst im Jahr 1939 gebündelt. Dazu wurde die „Wetterwirtschaftsstelle der Westfälischen Berggewerkschaftskasse“ gegründet (13).

Nach dem zweiten Weltkrieg führte der seit Oktober 1949 bestehende Ausschuss bei der Deutschen Kohlenbergbauleitung die Arbeiten fort und sah es als eine seiner wichtigsten Aufgaben an, der Klimafrage unter Verwendung der neuesten Forschungsergebnisse nachzugehen (12).

Hoffmann (12) berichtet im Jahr 1953 über Untersuchungen des Ausschusses für Wettertechnik in den Jahren 1950 und 1951 mit insgesamt 423 Versuchspersonen, bei denen physiologische und klimatische Messungen unmittelbar an den Arbeitsstellen durchgeführt wurden.

Untersuchungen dieses Ausmaßes sind zu diesem Zeitpunkt erstmalig für den Deutschen Steinkohlenbergbau durchgeführt worden (12).

Es wurde unter anderem ermittelt, in welchem Ausmaß Körpertemperatur und Pulsschlag in ungünstigem Klima ansteigen. Es zeigte sich, dass bei schwerer Arbeit die Pulszahl stärker steigt als die Körpertemperatur.

Es zeigte sich in den Untersuchungen (12) auch, dass die Schwere der Arbeit einen wesentlich größeren physiologischen Einfluss, bestimmt durch die Höhe der Pulszahl, auf die Bergleute ausübte als die Belastung durch das Klima. Daraus folgte, dass die Festlegung einer Grenze für die Arbeit unter Klimabelastung als sehr schwierig angesehen wurde, weil der Einfluss der jeweiligen Arbeitsleistung entscheidend ist (12).

Weitere, aus früheren Untersuchungen schon bekannte, Einflüsse waren nach Hoffmann das Alter der Bergleute – ältere Bergleute hatten bei gleicher Arbeitsleistung und gleicher Klimabelastung höhere Pulszahlen und Körpertemperaturen als jüngere – und die Gewöhnung an höhere Temperaturen, die bei den Arbeitern zu höheren Arbeitsleistungen unter Klimabelastung führte.



Eine besondere Erkenntnis der Untersuchung war, dass die Belastung der untersuchten Hauer in keinem Fall die Grenze des physiologisch Zumutbaren überschritt, obwohl die klimatisch ungünstigsten Betrieb ausgesucht wurden (12).

1953 führte Brüner in Zusammenarbeit mit der Wetterwirtschaftsstelle die Untersuchungen in einem Querschlag der Schachanlage Sälzer-Amalie in Essen fort, in dem bei einer Feuchte von 85 bis 95% Trockentemperaturen von 34 bis 35,5°C herrschten (14).

Bereits nach einer halbstündigen Arbeit näherte sich bei einem Teil der eingesetzten Bergleute die Beanspruchung den physiologisch zulässigen Grenzen.

Da die physiologischen Werte – Pulsfrequenz und Rektaltemperatur – nach dreistündiger Arbeit nicht weiter gestiegen waren, schloss Brüner daraus (14), dass sie unterhalb der kritischen Grenzen gehalten werden können und damit auch in diesem Fall das physiologisch Zumutbare nicht überschritten wurde.

Grundsätzlich, auch aus den beschriebenen Untersuchungen, stellte sich die Frage nach einem objektiven Maß für eine zumutbare Grenze beim Arbeiten in warmem Klima.

Mit dieser Fragestellung befasste sich Brüner Ende der 1950er Jahre (15).

Brüner sieht die Aufgaben darin, einzelne Größen des Grubenklimas in einem echten Klimamaß zusammenzufassen und zwischen den physiologischen Größen, wie Körperinnentemperatur, Puls und Blutdruck, und der jeweiligen Klima- und Arbeitsbelastung eine feste Beziehung herzustellen.

Als nächster Schritt wären im Hinblick auf die zumutbare physiologische Belastung Klimabereiche und Klimagrenzen festzulegen (15).

Da jede der relevanten klimatischen Größen, vor allem Temperatur, Feuchtigkeit und Wettergeschwindigkeit, die physiologischen Funktionen beeinflussen kann, reicht eine dieser Größen alleine zur Festlegung des Klimazustandes nicht aus; es muss als Bewertungsgrundlage also ein Klimasummenmaß verwendet werden (15).

Es soll alle klimatischen Größen richtig geordnet in sich vereinigen und wegen der praktischen Anwendbarkeit mit wenigen, aber entscheidenden und sinnvoll gekoppelten Größen der physiologischen Wirkung des Klimas nahe kommen. Nach Brüner soll das Klimasummenmaß auch Betriebspunkte vergleichbar machen, deren einzelne klimatische Größen stark voneinander abweichen. Es ist das Klimasummenmaß zur Beurteilung physiologischer Reaktionen am besten geeignet, das der jeweiligen Belastung des menschlichen Organismus durch unterschiedliches Klima in Ruhe und unter Arbeit am besten entspricht (15).

Brüner spricht folgende Klima-einzel- und -summenwerte an:

- Die Trockentemperatur als immer noch verwendete Größe für die Schichtzeitbegrenzung, reicht nach Brüner als Einzelwert für die Klima-beurteilung nur dann aus, wenn sie die Haupteinflussgröße für das Klima ist und Feuchtigkeit, Wettergeschwindigkeit und Strahlung

einen relativ geringen Einfluss ausüben. Bei höheren Temperaturen und größerer Arbeitsbelastung kennzeichnet die Trockentemperatur alleine das Klima nicht mehr ausreichend, weil die zunehmende Schweißverdunstung weitgehend die Abgabe der überschüssigen Körperwärme übernehmen muss und damit die Kühlwirkung abhängig ist von der jeweiligen Feuchte und Wettergeschwindigkeit (15).

- Die Feuchttemperatur war 1905 erstmals im englischen Bergbau genutzt worden. Da sie jedoch nur unter ganz bestimmten Bedingungen mit der physiologischen Wirkung des Klimas parallel lief, spielte sie als Einzelwert keine Rolle mehr.
- Der Klimasummenwert „Amerikanische Effektivtemperatur“ ( $t_{\text{effA}}$ ) berücksichtigt die Trockentemperatur, die Feuchttemperatur und die Wettergeschwindigkeit. Er wurde 1924 nach subjektiven Angaben von Probanden durch den Amerikaner C.P. Yaglou definiert. Yaglou hatte Menschen in einer Kammer unterschiedlichem Klima ausgesetzt und sie anschließend nach ihren subjektiven Befinden befragt (16). Das Ergebnis war das Klimamaß nach Yaglou oder auch „Effektivtemperatur“, später auch Basiseffektivtemperatur (BET).
- Die „Belgische Effektivtemperatur“ (15) ist ein seit 1947 verwendeter Klimamischwert, der sich aus der Trocken- und der Feuchttemperatur errechnet. Die Formel für die Belgische Effektivtemperatur lautet (17):  $t_{\text{effB}} = 0,1 t_{\text{trocken}} + 0,9 t_{\text{feucht}}$  in °C. Die Belgische Effektivtemperatur vernachlässigt die Wettergeschwindigkeit unter der Annahme, dass in einem bestimmten Bergbauggebiet bei ähnlichen Lagerungsbedingungen eine gleichbleibende mittlere Wettergeschwindigkeit von 1,0 bis 1,5 m/sec vorherrscht.

Brüner (15) schlägt vor, den Summenwerten der Amerikanischen Effektivtemperatur die Einheit „GK“ zu geben, um Verwechslungen mit den Temperaturen der Einzelwerte zu vermeiden, die in °C angegeben werden.

Dass sich die Amerikanische Effektivtemperatur als Klimamaßstab im Steinkohlenbergbau durchsetzen konnte, lag daran, dass sie an allen Stellen im Grubengebäude hinreichend genau bestimmt werden kann und aus damaliger Sicht den Zusammenhang zwischen Klima und physiologischer Beanspruchung am besten wiedergibt (15).

Bei der Auswahl der physiologischen Merkmale wurde nach Brüner davon ausgegangen, dass der Mensch zu den Lebewesen gehört, die auf eine bestimmte Innentemperatur eingestellt sind und die über einen Regelmechanismus verfügen, der, sofern er nicht überfordert wird, das Gleichgewicht zwischen Wärmebildung und Wärmeabgabe von selbst herstellt. Von der Außentemperatur unabhängige Schwankungen der Körperinnentemperatur von 1 bis 2°C können zum Beispiel Auswirkungen des Tagesrhythmus oder schwerer körperlicher Arbeit sein (15).

Außer den rund 70 kcal/h Ruhewärme muss je nach Schwere der Arbeit der bis zu sechsfache Wärmebetrag nach außen abgeführt werden.

Auf Grund dieser Schwankungen in der Wärmeerzeugung des menschlichen Körpers und der daraus notwendigen Wärmeabfuhr ist die Festlegung allgemeiner Klimagrenzen schwierig (15).

Wird das Aufstellen eines geeigneten Klimamaßstabes für den Bergbau als notwendig angesehen, ist nach Brüner die Frage der Akklimatisation, das heißt der physiologischen Anpassung des Bergmannes an den klimatisch ungünstigen Arbeitsplatz, zu diskutieren, ohne die eine Beziehung des Grubenklimas zur Klima- und Klimaarbeitsbelastung nicht vollständig hergestellt werden kann.

Die physiologischen Veränderungen am Ende einer Wärmeakklimatisation sind im wesentlichen die Mehrdurchblutung der Haut unter bleibender Vermehrung der Hautblutgefäße, die Vermehrung der Gesamtblutmenge, die Verminderung des Grundumsatzes und die stärkere Absonderung eines nur geringer konzentrierten Schweißes bei Vermehrung der Schweißdrüsen (15). Die Akklimatisation wird nach Brüner nach ein bis sechs Wochen erreicht; eine einmal abgeschlossene Akklimatisation geht erst nach Monaten verloren, eine Minderung kann aber schon nach wenigen Tagen Aufenthalt in normalem Klima beobachtet werden.

Früher bereits Akklimatisierte zeigen eine erhöhte Wiederakklimatisationsbereitschaft.

Brüner berichtet von Bemühungen, ein physiologisches Maß zu finden, das die Grenze des Zumutbaren festlegt, auf die dann ein bestimmter Klimazustand, im wesentlichen in Abhängigkeit von Arbeitsintensität und Leistung, bezogen werden kann.

Damalige Untersuchungen ließen vermuten (15), dass aus der Höhe der Kerntemperatur – gemessen als Rektaltemperatur – und der Pulsfrequenz – als Anzeige für das Kreislaufgeschehen und damit auch der Arbeitsschwere – unter Wärme und Arbeit ein hinreichend genaues Kennmaß für das tatsächlich Zumutbare gebildet werden kann. Kerntemperatur und Pulsfrequenz stellen sich unter Arbeits- und Klimabelastung auf höhere Werte ein.

Erst wenn die Arbeits- oder Klimabelastung oder beide sehr stark ansteigen und die Regulationsmöglichkeiten erschöpft sind, kommt es nach Brüner nicht mehr zu einem Gleichgewichtszustand, sondern zu einem ungesteuerten Weiteranstiegen von Innentemperatur und Puls, das heißt zu einer Entgleisung der Wärmeregulation; Puls und Rektaltemperatur gehen dann über die physiologischen Grenzen weit hinaus.

In mehreren Bergbauregionen der Welt wurden Untersuchungen für die Grenzwerte der Pulsfrequenz und der Rektaltemperatur durchgeführt (15).

Aus diesen und seinen eigenen Untersuchungen schlägt Brüner als physiologisches Kennmaß die Pulsfrequenz von 115 Schlag/min und eine Rektaltemperatur von 38,3°C vor. Danach ist eine Arbeit in jedem Klimabereich physiologisch zumutbar, wenn sowohl die Rektaltemperatur von 38,3°C als auch die Pulsfrequenz von 115 Schlag/min, gemessen 3 bis 5 Minuten nach Arbeitsende, nicht überschritten werden.

Ausgehend von diesen Erkenntnissen war es nach Brüner naheliegend, zu untersuchen, ob sich durch physikalische Größen Klimabereiche definieren

lassen, innerhalb derer, in Abhängigkeit von Leistung und Zeit, eine bestimmte bergmännische Arbeit gefordert werden kann.

Nach Brüners Untersuchungen (15) im deutschen Bergbau ist bis zu einer Effektivtemperatur ( $t_{\text{effA}}$ ) von 28 GK keine messbare Leistungsabnahme festgestellt worden; das vorgeschlagene Kennmaß – 115 Pulsschläge je Minute und gleichzeitig 38,3°C Rektaltemperatur – wurde nicht annähernd erreicht.

Ab  $t_{\text{effA}} = 28$  GK aufwärts konnte Brüner ein Nachlassen der Arbeitsleistung feststellen, das bis  $t_{\text{effA}} = 32$  GK auf rund 60 % des Ausgangswertes absank.

An den Arbeitsplätzen unter  $t_{\text{effA}} = 32$  GK hatte kein Bergmann das Kennmaß des physiologisch Zumutbaren überschritten.

Erst darüber (15) traten Überschreitungen des Kennmaßes auf, wenn an diesen Arbeitsplätzen sehr intensiv gearbeitet wurde; gleichzeitig kam es nach längerer Arbeitsdauer zu Störungen im Sinne einer Überbelastung, allerdings ohne wirkliche gesundheitliche Beeinträchtigungen.

Auf Grund der Erkenntnisse macht Brüner folgende Vorschläge zur Abgrenzung der Klimabereiche für voll akklimatisierte Bergleute:

$t_{\text{effA}} \leq 28$ GK	Bereich I: volle Arbeitszeit und volle Leistung
$28 \text{ GK} < t_{\text{effA}} \leq 32$ GK	Bereich II: 6 h Arbeitszeit mit stufenweise eingeschränkter Leistung
$t_{\text{effA}} > 32$ GK	Bereich III: kurze Arbeitszeit mit stark eingeschränkter Leistung

Brüner (15) verweist noch darauf, dass – so lange es nicht gelingt, individuelle Belastungsgrenzen auf Grund eines individuellen physiologischen Kennmaßes zu ermitteln – solche Belastungsgrenzen nur durch physikalische Klimagrößen, die als Klimasummenwert erfasst werden müssen, festgelegt werden können. Weil damit keine individuellen Belastungsgrenzen beschrieben werden können, ist bei der Festlegung der Klimabereiche unter Verwendung physikalischer Größen ein Sicherheitsfaktor festzulegen – was Brüner auf Grund der großen Zahl der vorgenommenen Untersuchungen für möglich hält -, dass innerhalb dieser Bereiche die Grenze des physiologisch Zumutbaren mit Sicherheit nicht überschritten wird.

Dabei spielt auch die Akklimatisierung der Bergleute eine entscheidende Rolle.

Bis 1970 wertet Schulze Temming Hanhoff (18) weitere Untersuchungen an einer großen Zahl von Bergleuten in einem Klimaprüfraum aus, die wichtige Zusammenhänge zwischen Klima und Arbeit im Zumutbarkeitsbereich liefern.

Schulze Temming Hanhoff unterteilt das Klima aus physiologischer Sicht in drei Bereiche: in einen unteren Bereich, in dem die Arbeitsleistung durch das Klima nicht eingeschränkt wird, einen mittleren – zumutbaren – Bereich, in dem die Leistungsfähigkeit herabgesetzt ist und einen oberen Bereich oberhalb der Erträglichkeitsgrenze, in dem Gesundheitsschäden auftreten können.

Der untere Bereich endet nach Schulze Temming Hanhoff bei etwa  $t_{\text{effA}} = 25^{\circ}\text{C}$  (= GK), bis zu der der ausgeglichene Wärmehaushalt ohne Einschränkung der Arbeitsleistung gewährleistet ist.

Den oberen Grenzwert setzt Schulze Temming Hanhoff wie Brüner mit 32 GK an. Dieser Grenzwert beinhaltet eine gewisse Sicherheit, so dass Gesundheitsschäden für gesunde, akklimatisierte Bergleute unwahrscheinlich sind, wenn sie im Zumutbarkeitsbereich unterhalb des Wertes arbeiten **(18)**. In diesem mittleren, zumutbaren, Bereich können die tatsächlichen Grenzen nur unter gleichzeitiger Betrachtung von Klima und Wärmeumsatz des Bergmannes, als Ergebnis der Arbeitsbelastung, beurteilt werden. Schulze Temming Hanhoff hält eine Pulsfrequenz von 130 Schlag/Minute als Ergebnis der Arbeiten vieler Forschungsgruppen für zumutbar. Er bezeichnet ein Klima von  $t_{\text{effA}} = 27^{\circ}\text{C}$  als zumutbar, wenn der Brutto-Wärmeumsatz 300 kcal/h nicht übersteigt, ein Klima von  $t_{\text{effA}} = 29^{\circ}\text{C}$  bei maximal 250 kcal/h.

Schulze Temming Hanhoff **(18)** verweist darauf, dass etwa 100 kcal/h davon auf den Grundumsatz des Menschen entfallen. Ein etwa genau so großer Teil ist bei hohen Temperaturen für die Aufrechterhaltung eines ausgeglichenen Wärmehaushaltes – im wesentlichen durch die erhöhte Schweißproduktion und die höhere Herzfrequenz – erforderlich. Damit bleibt für die eigentliche Arbeitsleistung nur noch ein geringer Anteil übrig.

*Bis Ende der 1960er Jahre waren die wichtigsten Vorarbeiten geleistet, um Klimabereiche im Steinkohlenbergbau festzulegen.*

*In den unteren Klimabereichen – dem Behaglichkeitsbereich – reicht die Trockentemperatur zur Klimabewertung aus.*

*Bei höheren Temperaturen ist ein Klimasummenwert zur Klimabeurteilung erforderlich, der zusätzlich die Feuchtigkeit und die Wetterbewegung berücksichtigt; dazu wird mit hinreichender Genauigkeit die Effektivtemperatur nach Yaglou verwendet.*

*Die grundsätzliche Aufgabenstellung war – nachdem ein individuelles Kennmaß für die Belastung der Bergleute fehlt – das Klima mit physikalischen Kennwerten – Trockentemperatur, Feuchtigkeit, Wettergeschwindigkeit – so zu beurteilen, dass die Überschreitung des physiologisch Zumutbaren vermieden wird.*

*Die individuelle Belastbarkeit der Bergleute ist vom Alter, Gewicht, Gesundheitszustand usw. und besonders von der Akklimatisierung abhängig.*

*Als Maß für die physiologische Belastung wurde in umfangreichen Untersuchungen die Pulsfrequenz und die Rektaltemperatur der Bergleute herangezogen.*

*Es zeigte sich schon früh, dass die Schwere der Arbeit einen größeren Einfluss auf die Bergleute ausübt als die Belastung durch das Klima.*

#### 4.4 Klimaverordnungen

Die Festlegung der Grenzen im Allgemeinen Berggesetz im Jahre 1905 für die Schichtzeitverkürzung wurde bereits angesprochen.

Die Bestimmung, dass die Beschäftigung bei einer Trockentemperatur über 28°C maximal sechs Stunden betragen darf, hat im Steinkohlenbergbau an der Ruhr heute noch Gültigkeit.

1964 wurde für den Ruhrbergbau eine obere Klimagrenze in der BVOST (Bergverordnung für die Steinkohlenbergwerke) verankert, die ein Beschäftigungsverbot – außer für Rettungsarbeiten und zur Gefahrenabwehr – oberhalb einer Effektivtemperatur von 32°C (bzw. GK) beinhaltet (19).

Am 1. März 1977 trat dann die Bergverordnung zum Schutz der Gesundheit gegen Klimaeinwirkungen im Steinkohlenbergbau (Klimaverordnung) in Kraft, die vom Landesoberbergamt Nordrhein-Westfalen erlassen worden war (20). Sie ersetzte den §25 der BVOST, in dem die Grenze für die Schichtverkürzung, die obere Klimagrenze und das Verfahren zur Bestimmung des Grubenklimas mit der Effektivtemperatur nach Yaglou geregelt war (21).

Wie in der BVOST unterscheidet die Klimaverordnung Trockentemperatur, Feuchttemperatur und Effektivtemperatur; die Effektivtemperatur wird ebenfalls nach dem Verfahren von Yaglou ermittelt (20).

Die Klimaverordnung von 1977 legte fest, dass die Beschäftigungsdauer, die Aufenthaltsdauer an den warmen Arbeitsplätzen, bei einer Trockentemperatur über 28°C bis zu einer Effektivtemperatur von 29°C sechs Stunden, bei einer Effektivtemperatur über 29°C fünf Stunden nicht überschreiten darf. Oberhalb einer Effektivtemperatur von 32°C bestand – außer für Arbeiten zur Rettung von Leben und Gesundheit – weiterhin ein Beschäftigungsverbot (20).

In der Klimaverordnung wurde zum Zwecke der Akklimatisation festgelegt, dass Bergleute, die erstmals bei einer Effektivtemperatur über 29°C beschäftigt werden oder seit mehr als sechs Monaten nicht unter diesen Klimabedingungen gearbeitet haben, dort erst nach einer Eingewöhnungszeit von mindestens zwei Wochen im Leistungslohn beschäftigt werden dürfen.

In der Klimaverordnung von 1977 wurde festgelegt, dass die Gesundheit der an heißen Betriebspunkten Beschäftigten durch ärztliche Vorsorgeuntersuchungen zu überwachen ist.

Am 1. Januar 1984 trat die Bergverordnung zum Schutz der Gesundheit gegen Klimaeinwirkungen (Klima-Bergverordnung – KlimaBergV) (22) auf der Grundlage des Bundesberggesetzes vom 13. August 1980 in Kraft. Mit dieser Verordnung wurde auch die Klimaverordnung des Landesoberbergamtes Nordrhein-Westfalen von 1977 abgelöst (22).

Damit wurden die Landesregelungen – die im Falle Nordrhein-Westfalens erst wenige Jahre bestanden hatte – bundesweit vereinheitlicht.

Der Unterschied zwischen den beiden Verordnungen bestand im wesentlichen in den verschärften Beschäftigungseinschränkungen in der Klimabergverordnung von 1984.

Eine Verkürzung der Beschäftigungszeit auf sechs Stunden erfolgt bei einer Trockentemperatur über 28°C oder bei einer Effektivtemperatur über 25°C, wenn die Effektivtemperatur von 29°C nicht überschritten wird.

Bei Effektivtemperaturen über 29°C und bis 30°C wird die Beschäftigungszeit auf fünf Stunden begrenzt.

Eine Beschäftigung über die Effektivtemperatur von 30°C hinaus ist grundsätzlich verboten und kann nur unter ganz bestimmten Voraussetzungen genehmigt werden (22); in der Klimaverordnung von 1977 galt dieses Verbot oberhalb von 32°C.

Explizit werden in der Bergverordnung von 1984 die Bestimmungen zum Schutz der Bergleute unter 21 und über 50 Jahren festgelegt, die nur bei Vorliegen der Unbedenklichkeit auf Grund einer ärztlichen Vorsorgeuntersuchung in warmen Betrieben bei einer Effektivtemperatur von mehr als 29°C beschäftigt werden dürfen.

Ansonsten entspricht die Klimabergverordnung von 1984 im wesentlichen der Klimaverordnung von 1977.

*Die Klimaverordnungen setzten eine Reihe von Forderungen um, die aus physiologischer Sicht die Zumutbarkeit der Arbeit an warmen Betriebspunkten für die Bergleute sicherstellen sollten.*

*Mit der Verschlechterung der klimatischen Verhältnisse, definiert durch die Trocken- bzw. Effektivtemperaturen in den Klimabereichen, wurden Arbeitszeitverkürzungen und Beschäftigungsverbote festgelegt.*

*Es wurde eine Eingewöhnungszeit vorgeschrieben, mit der die Akklimatisierung der Bergleute sichergestellt werden sollte.*

*Für jüngere und ältere Mitarbeiter wurden besondere Schutzklauseln eingeführt.*

*Um sicherzustellen, dass unter schwierigen Klimabedingungen nur Bergleute arbeiten, die gesundheitlich dazu geeignet sind, werden regelmäßige Vorsorgeuntersuchungen vorgeschrieben.*

*Über viele Jahrzehnte wurden die physiologischen Auswirkungen auf den menschlichen Körper durch das, mit physikalischen Größen beschriebene, Grubenklima untersucht. Die Klimaverordnungen spiegeln die dabei erlangten Erkenntnisse wieder.*

#### **4.5 Erkenntnisse im Goldbergbau Südafrikas**

Die besonderen Klimaschwierigkeiten in den tiefen Goldbergwerken Südafrikas führten dort zu einer intensiven Beschäftigung mit dem

Grubenklima und seinen Auswirkungen auf die Bergleute (23), dort als „Human Heat Stress“ bezeichnet.

Stewart (23) beschreibt, dass am Witwatersrand in der Zeit zwischen 1920 und 1930 die Wärmebelastung allgemein stark zunahm. 1924 wurde von dem ersten Todesfall durch Hitzschlag berichtet; im Jahr 1930 starben bereits 26 Bergleute durch Hitzschlag.

Sofort wurden Schritte gegen das Hitzrisiko unternommen (23); bereits 1925 wurde bei der Village Deep Gold Mining Co. Ltd. und 1926 bei der City Deep Ltd. damit begonnen, neu angelegte Bergleute dadurch zu akklimatisieren, dass sie an den heißen Arbeitsplätzen unter Tage zunächst für zehn Tage mit leichteren Arbeiten beschäftigt wurden. Für Bergleute, die bereits früher an Hitzarbeitsplätzen eingesetzt waren, verkürzte sich diese Spanne auf fünf Tage.

Systematische Studien in den 1920er Jahren zur Hitzetoleranz des Menschen führten zu einer Bestätigung dieser Vorgehensweise (23); diese Studien gelten als Ausgangspunkt eines massiven Untersuchungsprogramms, das nachfolgend durch Goldbergbauunternehmen durchgeführt wurde.

Die Forschung (23) zielte einerseits darauf, ein besseres Verständnis für den „human heat stress“ zu bekommen und andererseits darauf, Methoden zu entwickeln, mit denen in der Praxis die Risiken durch die Hitzebelastung beseitigt oder verringert werden konnten.

Stewart (23) beschreibt zunächst die verschiedenen Formen der Wärmekrankheiten:

- Hitzschläge (23) treten nicht bei allen Menschen in der gleichen Form auf. Eine Bedingung für den Hitzschlag ist dann erfüllt, wenn die Körpertemperatur so stark gestiegen ist, dass Gewebe – häufig irreversibel – zerstört wurde. Obwohl bei einem Hitzschlag viel Gewebe zerstört wird, hängen die Genesungschancen hauptsächlich vom Zerstörungsgrad des Gehirns, der Nieren und der Leber ab. Neben der hohen Körpertemperatur ist die Dauer der Einwirkung von Bedeutung.

Auf jeden Fall sollten Bergleute, die eine Rektaltemperatur von 40,6°C und mehr aufweisen, auf Hitzschlag behandelt werden.

In der Praxis beginnt die Entwicklung zu einem Hitzschlag, wenn die Wärmeerzeugung des Körpers die Wärmeableitung durch die Umgebung übersteigt.

Eine ungenügende Schweißrate in Folge von Schweißdrüsenermüdung oder Dehydration ist ein wichtiger Faktor in eigentlich allen Fällen von Hitzschlag.

In einigen Fällen von Hitzschlägen wird die Schweißentwicklung gestoppt, weil die Thermoregulation des Körpers ausfällt.

Durch die fehlende Verdunstungskälte beschleunigt sich die metabolische Wärmeentwicklung, das heißt die Wärmeentwicklung auf Grund der Stoffwechselforgänge, zusätzlich, und die Effekte schaukeln sich gegenseitig hoch.



Ein Hitzschlag wird in der Regel bemerkt, wenn das Gehirn und das Nervensystem angegriffen werden. Neben einer Rektaltemperatur von 40,6°C und höher können andere typische Symptome auftreten, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, ebenso wenig auf die Therapiemöglichkeiten.

Mit der steigenden Rektaltemperatur steigt die Todesrate überproportional an.

- Erschöpfung **(23)** kommt als Folge der Verringerung der zirkulierenden Blutmenge vor.

Die Ursache ist dann entweder Salzverlust oder Dehydration durch unzureichenden Ausgleich des Flüssigkeitsverlustes durch Schwitzen.

Da die normale Ernährung mehr Salz zuführt als ausgeschwitzt wird, liegt die Ursache für Erschöpfungszustände in den meisten Fällen in der Dehydration. Auch ungenügende Akklimatisierung und Kreislaufprobleme können zu Erschöpfungszuständen führen.

Nach Stewart sollen die Bergleute angehalten werden, durch das ständige Trinken kleiner Wassermengen den Flüssigkeitsverlust auszugleichen. Er empfiehlt ebenfalls, das Salz zu den Mahlzeiten einzunehmen, weil der Körper dann ausreichend Zeit hat, es aufzunehmen.

- Hitzekollaps **(23)** mit Ohnmachtserscheinungen ist eine häufig auftretende Hitzefolge. Durch geweitete Blutgefäße sammelt sich das Blut in den Gefäßen der Haut und in der unteren Körperhälfte, so dass das Herz und das Gehirn nicht ausreichend durchblutet werden. Der Patient erholt sich rasch, wenn er liegt.

- Hautausschlag (prickly heat) **(23)** entsteht, wenn Menschen ständig feuchter Hitze ausgesetzt sind und damit ständig Schweiß auf der Haut steht. Dadurch schwellen die Hautzellen um die Schweißdrüsen an, die dadurch verstopfen und sich entzünden können.

„Prickly heat“ kann gefährlich werden, weil dadurch die Schweißrate verringert werden und in Folge die Körpertemperatur, mit den geschilderten Folgen, ansteigen kann.

„Prickly heat“ kann vermieden werden durch den Aufenthalt in kühler Umgebung zwischen den Phasen der Hitzearbeit.

- Ermüdung **(23)** durch Hitze ist weniger dramatisch als die geschilderten Hitzekrankheiten, hat aber wichtige Konsequenzen in der Praxis. Die Schaffung günstiger klimatischer Verhältnisse vermeidet die Ermüdungserscheinungen und wirkt sich günstig auf die Produktivität aus.

Im weiteren geht Stewart (23) auf das Erkennen und Messen der Hitzebelastung in Goldbergwerken ein; wichtig ist vor allem, das Hitzschlagrisiko so weit wie möglich auszuschalten.

Daher wird dem Arbeitsplatz eines Bergwerks, an dem die Wetter die geringste Kühlstärke aufweisen, die Arbeit mit der höchsten körperlichen Belastung gegenübergestellt (23). Das daraus errechnete Risiko, eine Körpertemperatur über 40°C zu erreichen, darf nicht größer als  $10^{-6}$  sein. Da sich die Betrachtung auf den Arbeitsplatz mit dem größten Risiko bezieht, wird das durchschnittliche Risiko für einen Bergmann, das für alle Arbeitsplätze eines Bergwerks gilt, einen Hitzschlag zu erleiden, noch geringer sein.

Stewart beschäftigt sich auch mit der Abschätzung der Hitzebelastung mit Hilfe von analytischen Modellen zur menschlichen Thermoregulation. Diese Modelle berücksichtigen sowohl physikalische Werte zur Beschreibung des Klimas als auch metabolische Werte, die sich aus der Arbeitsbelastung ergeben.

Es zeigt sich, dass die daraus prognostizierten Rektaltemperaturen sehr starken Schwankungen unterworfen sind, je nach Arbeitsbelastung und jeweiligem Grubenklima (23). Hitzschlagrisiken können so frühzeitig erkannt und Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Stewart berichtet über verschiedene Arten der Akklimatisierung, die für die unterschiedlichen Arten der Hitzebelastung sinnvoll sind.

Grundsätzlich gilt nach Stewart, dass die Bergleute für die höchste Hitzebelastung akklimatisiert werden, aber kontrolliert und in einem progressiven Verfahren. Das kann dadurch geschehen, dass bei konstantem Klima die Arbeitsleistung erhöht wird oder bei konstanter Arbeitsleistung die Klimawerte steigen oder beide Einflüsse verstärkt werden.

Stewart (23) führt folgende Methoden der Akklimatisierung an:

- Unter Tage wird die Akklimatisierung über 12 Tage durchgeführt, mit steigenden Klimawerten in der zweiten Hälfte. Die Akklimatisierung erfolgt unter der Aufsicht dafür ausgebildeter Mitarbeiter, die die Körpertemperatur der Bergleute überwachen und sofort eingreifen, wenn kritische Werte erreicht werden.
- In der Klimakammer herrschen – im Gegensatz zu der Akklimatisierung vor Ort unter Tage – gleichbleibende Verhältnisse, konkret eine Feuchttemperatur von etwa 31,7°C mit einer Wettergeschwindigkeit von etwa 0,5 m/s. Um eine Arbeitsleistung zu simulieren, steigen die zu akklimatisierenden Leute unablässig auf einen Block und wieder herab. Die Leute sollen dabei körperlich so beansprucht werden, dass sie 1,4 l Sauerstoff/min verbrauchen, was dem Sauerstoffverbrauch bei harter Arbeit unter Tage entspricht. Damit das Maß des Sauerstoffverbrauchs für alle zu akklimatisierenden Personen eingehalten werden kann, wird die Höhe des Blockes je nach Körpergewicht variiert. Leichte Männer müssen eine größere Tritthöhe bewältigen als schwere. Die Leute werden dabei durch geschultes Personal überwacht.

Die Vorteile der Klimakammer gegenüber der Akklimatisierung unter Tage sieht Stewart darin, dass die Akklimatisierung sicherer und leichter zu überwachen ist. Da die Akklimatisierung in nur einer Kammer stattfindet, ist weniger Überwachungspersonal erforderlich, und die Klimakammer kann mehrfach am Tag genutzt werden. Die Akklimatisierungszeit der Leute verringert sich auf vier Stunden je Tag; die restlichen Stunden können für andere Trainingseinheiten genutzt werden. Insgesamt sinkt die Akklimatisierungsdauer gegenüber dem Verfahren unter Tage von zwölf auf acht Tage.

- Durch die Ergänzung der Akklimatisierung mit Vitamin C verkürzt sich die Dauer nochmals von acht auf fünf Tage. Dabei wird vor und während der Akklimatisierung eine Dosis von 250 mg Vitamin C täglich verabreicht.
- Bei der Mikroklima-Akklimatisierung tragen die Leute an den ersten sechs Arbeitstagen der Akklimatisierung an den heißen Betriebspunkten eine CO<sub>2</sub>-Kühlweste. Die Akklimatisierung wird durch die Verabreichung von Vitamin C ergänzt. Grundsätzlich sollten nur Bergleute auf diese Art akklimatisiert werden, deren Hitzetoleranz vorher positiv getestet wurde.

Stewart (23) zeigt einige grundsätzliche Möglichkeiten auf, mit denen die Hitzetoleranz der Bergleute im Vorfeld getestet werden kann. Zunächst zeigt sich die Hitzetoleranz während der Akklimatisierung. Leute, die die Akklimatisierung nicht positiv abschließen können, sind nicht für die Arbeit an heißen Betriebspunkten geeignet. Das Prinzip der Hitzetoleranztests ist, dass die schwierigsten Klimaverhältnisse simuliert werden, die unter Tage zu erwarten sind (23). Ein Teil der Leute ist in der Lage, dieses hohe Hitzeniveau auszuhalten. Sie können ohne Akklimatisierung unmittelbar an heißen Arbeitsplätzen eingesetzt werden.

Es stellte sich heraus, dass es Menschen gibt, die auf Grund ihrer Konstitution hitzetolerant sind und andere, die hitzintolerant sind. Einige grundlegende Aussagen zur Thermoregulation des Menschen, die diesem Phänomen zu Grunde liegt, wurden zu Beginn des **Punktes 4.** bereits gemacht.

Bei den Hitzetoleranztests (23), die für den südafrikanischen Goldbergbau eingeführt wurden, steigen die Leute für vier Stunden unablässig auf einen Block und wieder herab; der Sauerstoffverbrauch soll dabei 1,25 l/min betragen. Auch beim Hitzetoleranztest wird der – gegenüber der eigentlichen Klimatisierung geringere - Sauerstoffverbrauch durch unterschiedliche, dem Körpergewicht angepasste, Tritthöhen sichergestellt. Die Klimawerte in der Klimakammer entsprechen dabei den unter Tage an heißen Betriebspunkten zu erwartenden Höchstwerten. Bergleute, deren Mundtemperatur in den vier Stunden nicht über 37,5°C hinausgeht, gelten als hitzetolerant. Sie können

direkt an die heißen Betriebspunkte verlegt werden und erhalten für die ersten fünf Tage an den heißen Betriebspunkten eine Vitamin C-Dosis von 250 mg /Tag.

Bergleute mit früherer Untertageerfahrung und Mundtemperaturen über 37,5°C und unter 38,6°C erhalten eine Mikroklima-Akklimatisierung; die übrigen durchlaufen eine der herkömmlichen Akklimatisierungen (23).

*In den 1920er Jahren tauchten im südafrikanischen Goldbergbau große Klimaprobleme auf.*

*Unmittelbar begonnene Forschungsprogramme der Goldbergbaugesellschaften brachten Erkenntnisse zur Wirkung der Hitze auf den Menschen und Methoden, mit denen die Hitzrisiken beseitigt oder verringert werden konnten.*

*Mit analytischen Methoden werden die zu erwartenden Belastungen der Bergleute an den heißen Betriebspunkten ermittelt und mögliche Hitzschlagrisiken vermieden.*

*Eine besondere Rolle bei der Risikoverminderung spielen die Testverfahren zur Feststellung der Hitzetoleranz der Bergleute – und wenn erforderlich – die nachfolgende Akklimatisierung.*

*Dadurch wird verhindert, dass für Hitzearbeit ungeeignete Leute an heißen Betriebspunkten eingesetzt werden.*

#### **4.6 Neuere Erkenntnisse**

Die Beschäftigung mit physiologischen Fragen bei Klimabelastung ging auch im Ruhrbergbau weiter.

Kampmann (24) berichtet im Jahr 2000 über Untersuchungen, die von ihm bei der RAG seit dem Jahr 1979 durchgeführt wurden.

Es handelte sich um Laborversuche in Klimakammern, um Untersuchungen an Mitgliedern von Gasschutz- und Grubenwehren und um eine Feldstudie „Untersuchung und Bewertung von Hitzeeinwirkungen auf Bergleute im Steinkohlenbergbau“ (24), die ab 1995 durchgeführt wurde.

Erstes Ziel war es nach Kampmann, die Beanspruchung (dargestellt in den wichtigen physiologischen Größen Herzschlagfrequenz, Körpertemperatur, Hauttemperatur und Schweißrate) durch Hitzeeinwirkungen in Klimakammern systematisch zu untersuchen, wobei die Belastungsgrößen Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Wärmestrahlung sowie die Arbeitsschwere und die Wärmeisolation durch die Bekleidung vorgegeben wurden.

In den angesprochenen Felduntersuchungen (24) ab 1995 wurde erstmals in der Industrie die Körperinnentemperatur kontinuierlich gemessen, ebenso wie die Herzschlagfrequenz.

Dabei zeigte sich, dass die Beanspruchungsreaktion der Probanden nicht linear zur Belastung verlief; während die Herzschlagfrequenz und die Körpertemperatur mit zunehmender Klimabelastung kaum anstiegen, nahm der Schweißverlust mit ansteigender Klimabelastung, ausgedrückt durch die Effektivtemperatur nach Yaglou (auch Basis-Effektivtemperatur oder BET),

signifikant zu, was wegen des Bestrebens des Körpers, die Erhöhung der Körpertemperatur durch Schweißverdunstung zu verhindern, verständlich ist (24).

Kampmann stellte Schweißverluste bis zu 6000 g in der Schicht fest, wobei die relativen Schweißverluste im Mittel bei 5% und in einem Fall bei 9,4% der Körpermasse lagen.

Der Schweißverlust wurde durch die Trinkmengen nur teilweise ausgeglichen. Während der Schweißverlust um 208 g bei einer Erhöhung der BET um 1°C ansteigt, beträgt der Anstieg der Trinkmenge im gleichen Intervall nur etwa 97 g.

Die Trinkmenge steigt mit dem Schweißverlust zwar an, im Mittel werden jedoch nur 44% der Flüssigkeitsverluste dadurch ausgeglichen (24).

Kampmann gibt für die Rehydration – hier sind die Wasseranteile in der Nahrung mit eingerechnet – an, dass sie bis zu einer BET von 27°C die Schweißverluste ausgleicht, oberhalb von BET = 30°C nur noch zu 40 bis 70%.

Bei hoher Klimabelastung stellte Kampmann eine mittlere Dehydration von 2% der Körpermasse fest, die sich negativ auf das Wohlbefinden und das Leistungsvermögen auswirkt (24).

Eine weitere Untersuchung von Kampmann beschäftigte sich mit der Beanspruchung bei Übungen der Rettungsdienste im Bergbau.

Dabei zeigte sich, dass die Mitglieder der Grubenwehr, an die höhere Anforderungen an die körperliche Leistungsfähigkeit gestellt werden, die Standardübung der Gasschutzwehr mit einer geringeren Beanspruchung absolvierten als die Mitglieder der Gasschutzwehr selbst.

Daraus folgt nach Kampmann (24), dass durch hinreichendes Training oder höhere Zulassungskriterien – was auf die Grubenwehrmitglieder in Relation zu den Gasschutzwehrmitgliedern zutrifft – deutlich niedrigere Beanspruchungen während der Übungen auftreten, so dass für Einsätze entsprechende Reserven vorhanden sind.

Kampmann führt die Tatsache, dass die Herzschlagfrequenz und die Körperinnentemperatur mit der Klimabelastung nicht wesentlich ansteigen, auf die Möglichkeit der Selbsteinteilung der Arbeitsintensität (self-pacing) zurück, die in mechanisierten Betrieben ohne hohe Einbußen an Produktivität möglich ist.

Kontinuierliche Messungen von Rektaltemperatur und Herzschlagfrequenz wurden auch bei einem Bergmann durchgeführt, der nach einer längeren Arbeitsunterbrechung für zehn Tage hintereinander, ohne Ruhetag, in warmen Betrieben eingesetzt wurde (24).

Die Rektaltemperatur lag am zehnten Tag, das heißt nach erfolgter Akklimatisierung, um etwa 0,3°C unter dem Ausgangswert.

Kampmann geht auch auf die für die Beurteilung von Hitzebelastung gültigen ISO-Normen ein (24). Danach ist zunächst die ISO 7234 anzuwenden.

Bei Überschreiten der darin angegebenen Grenzwerte – und das wäre im Ruhrbergbau bei einer großen Zahl der Betriebspunkte der Fall, wenn diese Norm gelten würde – ist die ISO 7933 heranzuziehen (24), die die Bewertungskategorien „Alarm“ und „Gefahr“ jeweils für akklimatisierte und nicht akklimatisierte Personen enthält.

Nach der ISO 7933 wäre ein großer Teil der Arbeitsplätze unter Tage beurteilt mit „Gefahr, auch für hitzeakklimatisierte Personen“. Dies entspricht jedoch nicht den tatsächlichen Verhältnissen (24).

Die ISO 7933 führt nach Kampmann zu einer übervorsichtigen Beurteilung der Klimabelastung.

Eine Arbeitsgruppe machte 1999 Vorschläge zur Überarbeitung der ISO 7933. Da grundsätzliche Änderungen vorgeschlagen wurden, wurde eine neue Bezeichnung mit „Predicted Heat Strain“ (PHS) gewählt, die auch den Erfahrungen im deutschen Steinkohlenbergbau weitaus besser entspricht und die ISO 7933 ersetzen soll (24).

Das PHS-Modell bildet auf einer großen Datenbasis zu Belastungs-Beanspruchungsuntersuchungen in wärmebelasteten Bereichen – auf der Grundlage einer Wärmebilanzbetrachtung – physiologische Beanspruchungsreaktionen bei Arbeiten unter Wärmebelastung nach (25). Mit dem Modell können die für die Wärmebelastung wesentlichen Beanspruchungsgrößen Körperkerntemperatur und Schweißproduktion prognostiziert werden.

*In umfangreichen Untersuchungen, auch mit kontinuierlicher Messung von Körpertemperatur und Herzschlagfrequenz, zeigte sich, dass mit steigender Klimabelastung die Herzfrequenz und die Rektaltemperatur kaum anstiegen, wohl aber die Schweißproduktion, die Voraussetzung für die Regelung der Körpertemperatur über die Verdunstungskälte ist.*

*Die Selbsteinteilung der Arbeitsintensität führte dazu, dass trotz hoher Klimawerte die Beanspruchungswerte der Bergleute im homoiothermen Bereich – in dem das Grubenklima noch keine Auswirkung auf die Herzschlagfrequenz und die Körpertemperatur hat - blieben.*

*Die ISO-Normen 7234 und 7933 sind nicht in der Lage, die Klimabelastung, auch an den heißen Arbeitsplätzen im Ruhrbergbau, zuverlässig zu beschreiben.*

*Auch auf Grund der Untersuchungen und Versuche im Ruhrbergbau, in dem die Regelungen der Klima-Bergverordnung gelten, soll die ISO 7933 durch das PHS-Modell abgelöst werden, das auf der Grundlage einer Wärmebilanz die wesentlichen Beanspruchungsgrößen Körperkerntemperatur und Schweißproduktion prognostizieren kann.*

## **4.7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

*Am Ende eines jeden Abschnitts wurden relevante Schlussfolgerungen bereits dargestellt.*

*Der Hintergrund für erste Temperatur- und Feuchtigkeitsmessungen im Steinkohlenbergbau war die notwendige Bindung des Kohlenstaubs durch Feuchtigkeit und damit die Bekämpfung der Gefahr von Kohlenstaubexplosionen.*

*Die Beschäftigung mit der Klimabelastung wurde durch die zunehmende Teufe und Ausdehnung der Grubengebäude und damit Verschlechterung der Klimaverhältnisse notwendig.*

*Frühe Vorschläge zur Begrenzung der klimatischen Einwirkungen bezogen sich schon auf die Symptome und nicht auf die Bekämpfung der Ursachen.*

*Markstein war der Gesetzentwurf der preußischen Regierung im Jahr 1905, mit dem auch der „sanitäre Maximalarbeitstag“, das heißt unter anderem die Arbeitszeit an warmen Betriebspunkten, geregelt werden sollte.*

*Die Trockentemperatur als Schichtzeitgrenze erfasste die Klimabelastung der Bergleute nur unvollständig und führte auch zu Fehlentwicklungen und damit teilweise sogar zu Klimaverschlechterungen.*

*Die Wirkung der Klimafaktoren war qualitativ schon früh (1905) bekannt; eine Quantifizierung erfolgte erst nach dem 1. Weltkrieg.*

*Im Vordergrund stand zunächst die wegen der klimatischen Belastung zurückgehende Leistung und nicht das Befinden der Bergleute.*

*Die Auseinandersetzung mit den Ursachen und Wirkungen des Grubenklimas fand in den 1920er Jahren vor allem auf den tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers statt, weil die Beherrschung des Grubenklimas und die Herstellung erträglicher Bedingungen für die Bergleute die Voraussetzung war, auf diesen Bergwerken überhaupt Bergbau betreiben zu können.*

*Um beurteilen zu können, welche Bedingungen für die Menschen erträglich sind, musste man zunächst der Frage der Wirkung des Grubenklimas auf den Menschen, auch wissenschaftlich, nachgehen.*

*Die physiologischen Zusammenhänge beim Einwirken hoher Temperaturen auf den menschlichen Körper waren in den 1920er Jahren bereits in den Grundsätzen geklärt.*

*Man erkannte, dass die Erwärmung des Körpers mit der Schwere der körperlichen Arbeit zunimmt; die Wärmeabfuhr erfolgt durch Leitung,*

*Konvektion, Strahlung und Verdunstung. Die überragende Bedeutung hat dabei die Verdunstung. Bei höheren Temperaturen hört die Wärmeabfuhr durch Leitung, Konvektion und Strahlung auf, und die Verdunstung bleibt das einzige Mittel zur Wärmeabfuhr.*

*Die Schweißverdunstung ist jedoch nur dann möglich, wenn sich die Wetter bewegen und trocken genug sind, um Feuchtigkeit aufzunehmen. Daraus ergibt sich, vor allem als Ergebnis der Arbeiten in den 1920er Jahren, die besondere Bedeutung der neben der Temperatur bedeutsamen Klimafaktoren Wettergeschwindigkeit und Feuchtigkeitsgehalt.*

*Daraus folgerte, neben den Fortschritten bei der Wetter- und Klimatechnik, eine Reihe von Maßnahmen, die bereits in diesen Jahren initiiert wurden, wie Hitzeschutzgetränke, salzreiche Nahrung und Akklimatisation.*

*Teilweise hatten sich die Bergleute der tiefen, warmen Gruben (in England) bereits dadurch geholfen, dass sie salzreiche Nahrung zu sich nahmen oder dem Trinkwasser eine geringe Menge Weinstein zusetzten, bzw. unter Tage leicht gesalzenes Wasser tranken.*

*Im Goldbergbau Südafrikas traten in den 1920er Jahren ebenfalls große Klimaprobleme auf; deshalb setzte auch dort um diese Zeit eine intensive Beschäftigung mit dem Thema ein. Wichtige wissenschaftliche Grundlagen wurden durch die systematischen Arbeiten um diese Zeit erarbeitet, darunter die Systematisierung der Wärmekrankheiten und die Bedeutung der Akklimatisierung.*

*Die Akklimatisation als wichtige Voraussetzung für die Einsatzmöglichkeiten und Leistungsfähigkeit der Bergleute wurde auch im deutschen Steinkohlenbergbau erkannt und floss daher als besondere Bestimmung für die Eingewöhnungszeit in die Bergverordnungen ein.*

*Es wurde auch als unabdinglich erkannt, sicherzustellen, dass nur Bergleute in warmen Betrieben eingesetzt werden, die körperlich dazu in der Lage sind. Im südafrikanischen Goldbergbau werden deshalb vorher qualifizierte Tests durchgeführt; in den deutschen Klimaverordnungen werden entsprechende Vorsorgeuntersuchungen vorgeschrieben.*

*Da die individuelle Belastungsgrenze eines Bergmannes schwierig zu ermitteln ist, war die Aufgabenstellung von Anfang an, Klimabereiche durch physikalische Größen so zu beschreiben, dass die zumutbare physiologische Beanspruchung nicht überschritten wird. Dabei sind die Ansätze unter Sicherheitsaspekten entsprechend vorsichtig zu wählen.*

*Die wichtigen physikalischen Größen zur Beschreibung der Klimabereiche sind die Trockentemperatur, die Feuchttemperatur und die Wettergeschwindigkeit; die wichtigen physiologischen Größen die Körpertemperatur und die Herzschlagfrequenz.*

*Als Beschreibung des Grubenklimas hat sich die Effektivtemperatur nach Yaglou durchgesetzt.*



*In den für den Ruhrbergbau gültigen Klimaverordnungen spiegeln sich die Ergebnisse der Arbeiten und Untersuchungen wieder, mit denen durch die Definition von Klimabereichen mit physikalischen Größen physiologische Belastungsgrenzen eingehalten werden konnten.*

*Es wurde schon früh erkannt, dass die Schwere der Arbeit einen größeren Einfluss auf die Beanspruchung der Bergleute ausübt als die Belastung durch das Klima.*

*Im hochmechanisierten Bergbau gelten daher grundsätzlich andere Voraussetzungen als im früheren Bergbau, als den Bergleuten größere physische Anstrengungen abverlangt wurden. War früher – unter Einwirkung von Klima und Arbeitsleistung – das Ansteigen von Pulsschlag und Körperkerntemperatur unumgänglich, kann heute die Arbeitsschwere weitgehend über das Beanspruchungsempfinden so geregelt werden (self-pacing), dass die Bergleute den homiothermen Bereich – in dem das Grubenklima noch keine Auswirkung auf die Herzschlagfrequenz und die Körpertemperatur hat - ausweiten können.*

*Die Klimamaße wurden, ausgehend von der Trockentemperatur als erstes Einzelmaß, zunehmend genauer aber auch komplexer.*

*In jüngster Zeit wurde das PHS (Predicted Heat Strain) – Modell entwickelt, das auf Grundlage einer Wärmebilanz physiologische Beanspruchungsreaktionen bei Arbeiten unter Wärmebelastung prognostizieren kann.*

### **Literatur:**

- (1)** Nasse, R.: Ueber den Feuchtigkeitsgehalt der Grubenwetter, Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Deutschen Reich 1888, S. 179 - 186
- (2)** Tübben: Vorschläge zur Abkühlung warmer Betriebspunkte in Grubenbauen, Glückauf 1899, S. 577 - 581
- (3)** Heise, F. und F. Herbst: Zur Frage der Begründung eines sanitären Maximalarbeitstages für Bergwerke, Glückauf 1905, S. 596 - 601
- (4)** Rossenbeck und Rath: Über künstliche Kühlung von Grubenwettern, Glückauf 1911, S. 267 - 273
- (5)** Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 613 – 616
- (6)** Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.1 - 12
- (7)** Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.51 - 58
- (8)** Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.83 - 97
- (9)** Winkhaus, H.: Gesamtwärme und Kühlleistung in tiefen, heißen Gruben, Glückauf 1923, S. 233 - 240

- (10) Wintermeyer,F.: Der Kampf mit den hohen Temperaturen in tiefen Schächten, Der Bergbau 1926, S. 49 - 52
- (11) Winkhaus, H.: Gesundheitliche Einwirkungen hoher Wettertemperaturen, Glückauf 1924, S. 129 - 131
- (12) Hoffmann,W.: Die Bedeutung der Wettertechnik für den Ruhrbergbau, Glückauf 1953, S. 891 - 902
- (13) Rauß,B.: Kälteanlagen zur Bewältigung grubenklimatischer Probleme, Glückauf 1981, S. 131 - 139
- (14) Kuhn: Aus der Arbeit des Ausschusses für Wettertechnik beim Steinkohlenbergbauverein, Glückauf 1956, S. 666 - 670
- (15) Brüner,H.: Physiologische Grenzen und Bereiche für das Arbeiten in warmem Klima, Glückauf 1960, S. 686 - 690
- (16) Reuther,E.: Lehrbuch der Bergbaukunde, Verlag Glückauf Essen 1989, S. 708 - 712
- (17) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen,1981, S. 22 - 26
- (18) Schulze Temming Hanhoff,J.: Untersuchungen über die Grenze zumutbarer Belastungen des Menschen durch Klima und Arbeit im Steinkohlenbergbau, Glückauf-Forschungshefte 1970, S. 182 - 195
- (19) Schwarz,H.G.: Klimafragen im Zusammenhang mit der neuen Bergverordnung, Kompass 1977, S. 93 - 101
- (20) Klimaverordnung für den Steinkohlenbergbau, Glückauf 1977, S. 343
- (21) Bergverordnung des Landesoberbergamtes Nordrhein-Westfalen für die Steinkohlenbergwerke (BVOST) vom 20. Februar 1970
- (22) Bergverordnung zum Schutze der Gesundheit gegen Klimaeinwirkungen vom 9. Juni 1983
- (23) Stewart,J.M.: Practical Aspects of Human Heat Stress, Environmental Engineering in South African Mines, The Mine Ventilation Society of South Africa 1989, S. 535 - 564
- (24) Kampmann,B.: Zur Physiologie der Arbeit in warmem Klima. Ergebnisse aus Laboruntersuchungen und aus Feldstudien im Steinkohlenbergbau, Habilitationsschrift, Wuppertal, 2000
- (25) Gebhardt,H.; Kampmann,B.; Müller,B.H.: Arbeits- und Entwärmungsphasen in wärmebelasteten Arbeitsbereichen, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, Forschungsprojekt F 1860, 2007
- (26) Stapff,M.: Ergebnisse der Wärmebekämpfung auf der Zeche Radbod, Glückauf 1922, S. 893 - 896
- (27) Schmidt,R.; Tews,G.; Lang,F.: Physiologie des Menschen, 28. Auflage, Springer Verlag, 2000, S. 653 – 665
- (28) Klinker,R. und Silbernagl,S.: Lehrbuch der Physiologie, Georg Thieme Verlag, 2000, S. 376 – 386; S. 462

## 5. Klimamaßstäbe

### 5.1 Der Beginn der Beschäftigung mit der Klimamessung

*Es war schon früh bekannt, dass nicht nur die Temperatur das Grubenklima beeinflusst, sondern auch die Feuchtigkeit der Wetter und die Geschwindigkeit.*

*Es fehlten anfangs aber die Messmethoden und auch die grundlegenden Kenntnisse, um das Grubenklima und seinen Einfluss auf den Menschen quantifizieren zu können.*

Nasse **(1)** berichtet im Jahr 1888 über Feuchtigkeitsmessungen in den Grubenwettern, die im Ruhrgebiet mit Hottinger'schen Hygrometern durchgeführt wurden.

Ein Gesetzentwurf der Regierung vom 8. März 1905, in dem unter anderem die Frage des „sanitären Maximalarbeitstages“ geregelt werden sollte, war für Heise und Herbst **(2)** der Anlass, sich mit diesem Thema auseinander zu setzen.

Der Gesetzentwurf hatte sich bei der Festlegung der Temperaturgrenzen ausschließlich auf die Trockentemperaturen bezogen.

Der preußische Handelsminister ging in der Sitzung des Abgeordnetenhauses am 27. März 1905, wie bereits unter **Punkt 4.1** dargestellt, auf die Schwierigkeiten bei der Festlegung der Temperaturgrenzen ein, indem er auf den Einfluss der Feuchtigkeit auf das Klima hinwies **(2)**.

Der Einfluss der Feuchtigkeitsgehalte der Wetter und der Geschwindigkeit war dem Grundsatz nach bereits bekannt. Eine Möglichkeit der Quantifizierung gab es aber noch nicht.

### 5.2 Systematisierung der Klimafragen auf den tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers

Winkhaus **(3)** beschäftigte sich bei seinen grundlegenden Arbeiten auf der Zeche Radbod Anfang der 1920er Jahre auch mit den Möglichkeiten zur Quantifizierung von Klimawerten.

Winkhaus führte auf der Zeche Radbod Messungen mit dem Feuchththermometer durch, dessen Ergebnisse mit der von Jelinek aufgestellten Psychrometertafel für die verschiedenen Wettergeschwindigkeiten korrigiert wurden, und gibt an, durchaus brauchbare Ergebnisse erzielt zu haben.

Einwandfreie Ergebnisse fand Winkhaus mit dem Aßmannschen Aspirationspsychrometer.

Die Bedeutung der Feuchtigkeit für das Grubenklima erkannte Winkhaus auch erst im Laufe seiner Untersuchungen auf der Zeche Radbod.

Das wird auch aus folgendem Zitat deutlich (3): „Wenn der Nasswärmegrad im folgenden nicht bei allen Messungen mitangegeben ist, so liegt dies daran, dass ich die Bedeutung des Feuchtigkeitsgehaltes erst im Laufe meiner Tätigkeit erkannte und sie dann anfangs mit einem Haarhygrometer zu messen versuchte. Dies muss jedoch infolge der Erschütterungen bei Befahrungen zu häufig berichtigt werden, als dass man sich auf seine Angaben im Grubenbetrieb mit Sicherheit verlassen könnte. Den Nasswärmegrad zeigt jedes geeichte Grubenthermometer mit zwei- bis dreifach mit Musselin umwickelter, freiliegender, feuchter Quecksilberkugel an, das an einem Faden oder Griff herumgeschleudert wird.“

Winkhaus führte im Jahr 1923 (4) weiter zu den Grundlagen aus, auf denen er seine Untersuchungen auf der Zeche Radbod durchführte, wie oben bereits erwähnt.

Er hatte schon im Jahr 1922 zur Beurteilung des Wärmezustandes eines Wetterstromes den Begriff des Nasswärmegrades (= Feuchttemperatur) definiert, in dem die Temperatur und der Feuchtigkeitsgehalt berücksichtigt sind.

Der Nasswärmegrad gibt nach Winkhaus die Temperatur an, bis zu der ein Wetterstrom mit bestimmter Temperatur und bestimmtem Feuchtigkeitsgehalt eine feuchte Fläche durch Verdunstung abkühlt.

Bei unendlich stark bewegten Wettern würde eine feuchte Fläche stets die Temperatur des Nasswärmegrades erreichen, wenn keine andere Wärmequelle auf sie einwirken würde.

Bei einem schwitzenden, unbedeckten Menschen liegt die Hauttemperatur immer zwischen der Körpertemperatur und dem Nasswärmegrad der vorbeistreichenden Wetter. Sie wird sich bei steigender Wettergeschwindigkeit dem Nasswärmegrad immer mehr nähern.

Auch hieraus folgt, dass die zunehmende Wettergeschwindigkeit die Kühlwirkung der Wetter erhöht (4).

Der Wärmezustand der Wetter konnte mit Nasswärmegraden beschrieben werden oder mit Pröttgraden.

Der Gehalt feuchter Luft an Wärmeenergie setzt sich nach Winkhaus zusammen aus der freien Wärme, messbar als absolute Lufttemperatur oder Trockentemperatur, und der im Wasserdampf gebundenen latenten Wärme. Um dem gesamten Wert den Charakter einer Temperatur zu geben, wurde der Begriff der „Äquivalenten Temperatur“ eingeführt; denkt man sich dazu den Wasserdampfgehalt eines Kubikmeters Wetter kondensiert und verwendet die entstandene Kondensationswärme dazu, das gleiche Volumen an trockener Luft zu erwärmen, so ergibt der Temperaturzuwachs die äquivalente Temperatur (4).

Auf der Basis dieser Zusammenhänge hatte Prött das Pröttmeter entworfen, mit dem die äquivalente Temperatur in Pröttgraden gemessen werden konnte.

Prött hatte das Messgerät nicht nach der spürbaren Wärme sondern den Celsiusgraden der äquivalenten Temperatur entsprechend nach „Luftkalorien“ (1 Luftkalorie = 0,306 kcal) des damit ermittelten Wärmegehaltes geeicht. Das Pröttmeter bürgerte sich nicht ein, wohl weil im Gegensatz zu einem Psychrometer keine gebräuchlichen physikalischen Einheiten verwendet wurden und sich aus den leichter zu messenden Nasswärmegraden alle erforderlichen Werte ermitteln ließen (4).

Die Wirkung eines Wetterstromes auf die Bergleute konnte aber weder durch die Nasswärmegrade noch durch die Pröttgrade vollständig beschrieben werden.

Mit Messinstrumenten ohne Eigenwärme lässt sich die Wirkung eines Wetterstromes auf einen selbst Wärme erzeugenden Körper nicht ermitteln.

Der Wärmezustand der Wetter hängt von der Gesamtwärme ab, während die Wärme- oder Kühlwirkung als die Leistung definiert ist, die einer Fläche mit bestimmter Größe und Temperatur in einer Zeiteinheit eine Wärmemenge entzieht (4).

Als Temperatur der zu kühlenden Fläche wird die mittlere Hauttemperatur des Menschen von 36,5°C angenommen.

Für die Festlegung der Einheit der Kühlleistung wurde angenommen, dass in 1 Sekunde einer Fläche von 1 cm<sup>2</sup> 1 Milligrammkalorie entzogen wurde. Die Einheit wurde in Anlehnung an die Einheit für die mechanische Arbeit, die Pferdestärke, „Kühlstärke“ (KS) genannt; daraus folgt: 1 KS = 1 mgcal/cm<sup>2</sup>/sec (4).

In der älteren Literatur wurde der Terminus „Milligrammkalorie“ verwendet, entsprechend „mgcal“; gemeint ist damit „Millikalorie“ bzw. „mcal“.

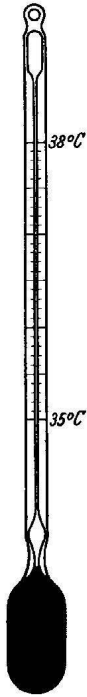
Je nachdem ob es sich um eine trockene oder feuchte Fläche handelt, ob also die Kühlwirkung durch die Erzeugung von Verdunstungskälte berücksichtigt wird, wird dabei zwischen Trockenkühlleistung und Nass- oder Gesamtkühlleistung unterschieden.

Unter Tage handelt es sich um die Bestimmung der Nasskühlleistung (4).

Als geeignetes Messgerät führt Winkhaus das von Hill im Jahr 1916 erfundene Katathermometer an, das zu dieser Zeit bereits in England, Amerika und Afrika verwendet wurde.

Mit ihm kann die wirkliche Kühlleistung eines Wetterstromes von bestimmter Nasswärme und Geschwindigkeit gemessen werden unter gleichzeitiger Berücksichtigung des Einflusses etwaiger Strahlungswärme.

Das Katathermometer ist ein einfaches Alkoholthermometer mit großer Füllung und einer Einteilung von in der Regel 35 bis 38°C (8); damit soll der mittleren Körpertemperatur von 36,5°C entsprochen werden.



**Bild 1, Katathermometer**

Das Katathermometer (**Bild 1**) wird in heißem Wasser deutlich über  $38^{\circ}\text{C}$  erwärmt und dann bei der Abkühlung in den Wettern die Zeit gestoppt, die zwischen den Temperaturen von  $38^{\circ}\text{C}$  und  $35^{\circ}\text{C}$  vergeht.

Der Quotient „Freiwerdende Wärme bei der Abkühlung von  $38^{\circ}\text{C}$  auf  $35^{\circ}\text{C}$ “ durch die gemessene Abkühlungszeit wird Kühlstärke oder Katagrad genannt (**8**).

Jansen berücksichtigte bei seinen Untersuchungen auf der Zeche Sachsen Mitte der 1920er Jahre (**5**) den Einfluss sowohl des Nasswärmegrades als auch der Wetterbewegung auf den menschlichen Körper durch die Messungen mit dem Katathermometer.

Nach Jansen wird das menschliche Wohlbefinden bis 5 KS durch eine drückende Schwüle beeinträchtigt, die ein Steigen der Körpertemperatur und die Zunahme der Pulsschläge und der Schweißabsonderung zur Folge hat.

Mit dem Wachsen der Kühlstärke bessert sich das Befinden des Menschen, so dass er sich ab 15 KS wohl fühlt.

Der günstigste Bereich geht bis 20 – 25 KS; oberhalb von 30 KS beginnt der Mensch zu frieren.

Die Leistungsfähigkeit ist nach Jansen unterhalb von 5 KS sehr gering, steigt mit der Kühlstärke und ist bei 15 KS bereits doppelt so hoch wie bei 3 KS.

Aus seinen auf der Zeche Sachsen durchgeführten Messungen leitet Jansen (**5**) folgende Gesetzmäßigkeiten ab:

1. Die Kühlstärke (Katagrad) erwies sich als ein einwandfreier Maßstab für das durch Körpererwärmung bedingte Wohlbefinden. Wetterströme mit demselben Katagrad wurden von den Bergleuten gleich beurteilt, auch wenn die trockenen und feuchten Temperaturen sehr unterschiedlich waren. So bezeichneten die Bergleute die Messungen mit 22 – 24 KS als angenehm, obwohl die Trocken- und Feuchttemperaturen um bis zu 10°C schwankten.
  
2. Die Leistungsfähigkeit der Bergleute war unterhalb von 5 KS gering und besserte sich mit wachsender Kühlstärke sehr schnell, so dass die Leistungen bei 14 – 15 KS, d.h. in Wetterverhältnissen, die der normalen Zimmertemperatur entsprachen, gut waren.
  
3. Der Katagrad kennzeichnet die Kühlwirkung so gut, dass die gemessenen Kühlstärken auch in der Bekleidung und der Schweißabgabe der Bergleute zum Ausdruck kommen. Von 5 KS abwärts arbeiten die Bergleute unbekleidet, und ihre Haut ist nass. Oberhalb von 5 KS bekleiden sie sich bereits mit einer Hose, und ihre Haut ist nur noch feucht. Oberhalb von 15 KS trägt der Bergmann bereits Hemd und Hose, und die Körperoberfläche wird nur noch bei der Arbeit feucht. Bei 25 – 35 KS wird die Bekleidung vollständig; oberhalb von 35 KS wird sie immer dichter, während die Haut selbst bei schwerster Arbeit kaum noch feucht wird. Jansen berichtet, dass er durch die Erfahrung bei seinen Messreihen in der Lage war, die Kühlstärken mit einer Genauigkeit von 1 – 2 KS anhand der Beschaffenheit seiner Haut abzuschätzen. Trockentemperatur und Nasswärmegrad ließen sich auch mit viel Erfahrung nicht annähernd abschätzen. In trockenen, schnell bewegten Wettern schätzte er trotz langjähriger Erfahrung die Trocken- und Feuchttemperaturen um bis zu 10°C zu niedrig ein, in feuchten, unbewegten um bis zu 10°C zu hoch. Dies entspricht der Beobachtung, dass die Temperaturen bei gleichen Kühlstärken um bis zu 10°C schwanken können.

Die Mindestkühlstärke beträgt 3 KS, weil der Bergmann in der Grube mindestens 3 mgcal/cm<sup>2</sup>/sec überschüssige Wärme erzeugt; wird diese nicht abgeführt, ist die Steigerung der Körpertemperatur unvermeidlich.

Jansen berichtet von Untersuchungen, die oberhalb des Wertes kein Steigen der Körpertemperatur oder der Krankenziffern erkennen ließen.

Auch auf der Zeche Sachsen ist nach Jansen in dieser Zeit bei Kühlstärken von 4 KS nirgends eine Gesundheitsschädigung festgestellt worden.

Auch über hohe Wettergeschwindigkeiten wurde nicht geklagt; im Gegenteil wurden sie bei hohen Feuchttemperaturen als sehr angenehm empfunden. Selbst bei Bergleuten, die über Jahre in

Wettergeschwindigkeiten über 6 m/s gearbeitet haben, wurden keine vermehrten Erkrankungen beobachtet.

Insgesamt war der Krankenstand laut Jansen in den tiefen, warmen Steinkohlengruben nicht höher als in den kühleren.

Jansen weist darauf hin, dass die Grenze von 28°C Trockentemperatur für die Schichtverkürzung nicht dem wahren Befinden der Bergleute entspricht. Er führte durchaus Messungen durch, bei denen die Trockentemperatur unter 28°C lag, die Verhältnisse auf Grund der geringen Kühlwirkung der Wetter für die Bergleute aber schwierig waren.

Umgekehrt gab es Messstellen, an denen die Wetter auf Grund der hohen Kühlstärke bereits als kühl empfunden wurden, die Trockentemperatur aber über 28°C lag und daher verkürzte Schichten verfahren wurden.

Aus der Festlegung des Grenzwertes durch die Trockentemperatur darf sich der Arbeitgeber nach Jansen nicht verleiten lassen, zweifelhafte Maßnahmen, wie der Einsatz der Wasserverdunstung zur Senkung der Trockentemperatur, anzuwenden.

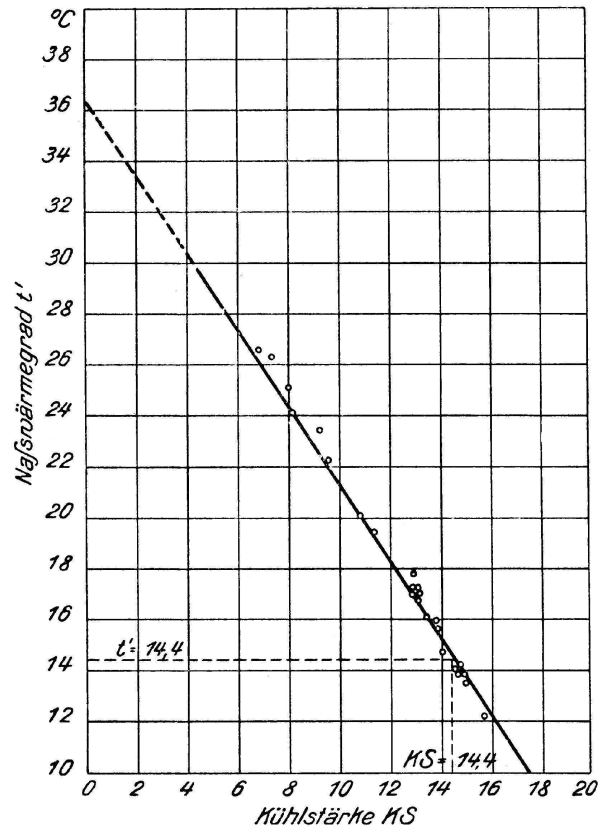
Wichtiger ist die Steuerung der von der Temperatur, der Wettergeschwindigkeit und dem Feuchtigkeitsgehalt abhängigen Kühlwirkung der Wetter so, dass der menschliche Körper selbst bei größten Anstrengungen ausreichend entwärmt wird.

Jansen geht daher auf die Wirkung der drei genannten Einflussgrößen auf die Kühlstärke bzw. den Katagrad ein.

Bei der Bestimmung der Abhängigkeit der Kühlstärken KS von den drei Parametern Temperatur  $t$ , relativer Feuchtigkeit  $F$  und Wettergeschwindigkeit  $v$  ist zu beachten, dass der Einfluss von  $t$  und  $F$  auf den bei gleichbleibendem  $v$  gemessenen Nasswärmegrad  $t'$  durch die Angaben der Psychrometertafel bereits festgelegt wird.

Werden nun Kühlstärken bei ebenfalls konstantem  $v$  ermittelt, so muss zwischen den gemessenen KS und  $t'$ , da beide nur noch von den Veränderlichen  $t$  und  $F$  abhängen, eine enge Beziehung bestehen. Wählt man als Geschwindigkeit  $v = 0$ , ergibt sich für die gemessenen Nasswärmegrade und Kühlstärken das **Bild 2**.





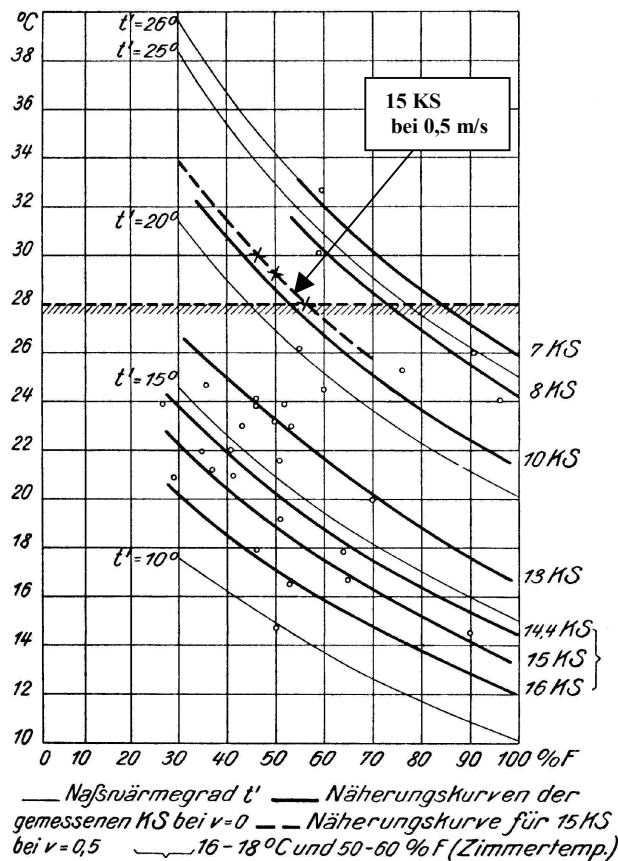
**Bild 2, Beziehung zwischen Nasswärmegrad  $t'$  und Kühlstärken KS (feucht) in ruhender Luft ( $v = 0$  m/sec)**

Alle Messwerte liegen auf einer Geraden, das heißt zwischen  $t'$  und KS in ruhender Luft besteht ein linearer Zusammenhang, der durch die Gleichung  $KS = 0,65(36,5 - t')$  mgcal/cm<sup>2</sup>/sec definiert wird. Darin ist 0,65 der Wärmeübergangskoeffizient; da das feuchte Katathermometer mit einem nassen Musselinüberzug versehen ist, beträgt das Temperaturgefälle  $36,5 - t'$ , also die Differenz zwischen der mittleren Körpertemperatur und der feuchten Temperatur.

In ruhender Luft sind Kühlstärke und Nasswärmegrad bei 14,4 gleich, und sie stehen im umgekehrten Verhältnis zueinander, das heißt bei sinkendem Nasswärmegrad steigt die Kühlstärke und umgekehrt.

Der Einfluss der Wettertemperatur  $t$  und der Feuchtigkeit  $F$  auf die Kühlstärken der Luft kann für jeden Fall mit der Psychrometertafel bestimmt werden.

In **Bild 3** sind zu diesem Zweck die Nasswärmegrade von  $t' = 10^\circ$  bis  $t' = 26^\circ$  in Abhängigkeit von der Trockentemperatur  $t$  und der Feuchtigkeit  $F$  der Luft als dünne Kurven aufgetragen worden. Die starken Kurven zeigen die korrespondierenden Kühlstärken von 7 KS bis 16 KS.



**Bild 3, Nasswärmegrad  $t'$  und Kühlstärken  $KS$  (feucht) in Abhängigkeit von Temperatur  $t$  und relativer Feuchtigkeit  $F$**

Mit steigender Temperatur und mit steigender Feuchtigkeit werden die Kühlstärken geringer, was auch dem von der Entwärmung des Körpers abhängigen Wohlbefinden des Menschen entspricht.

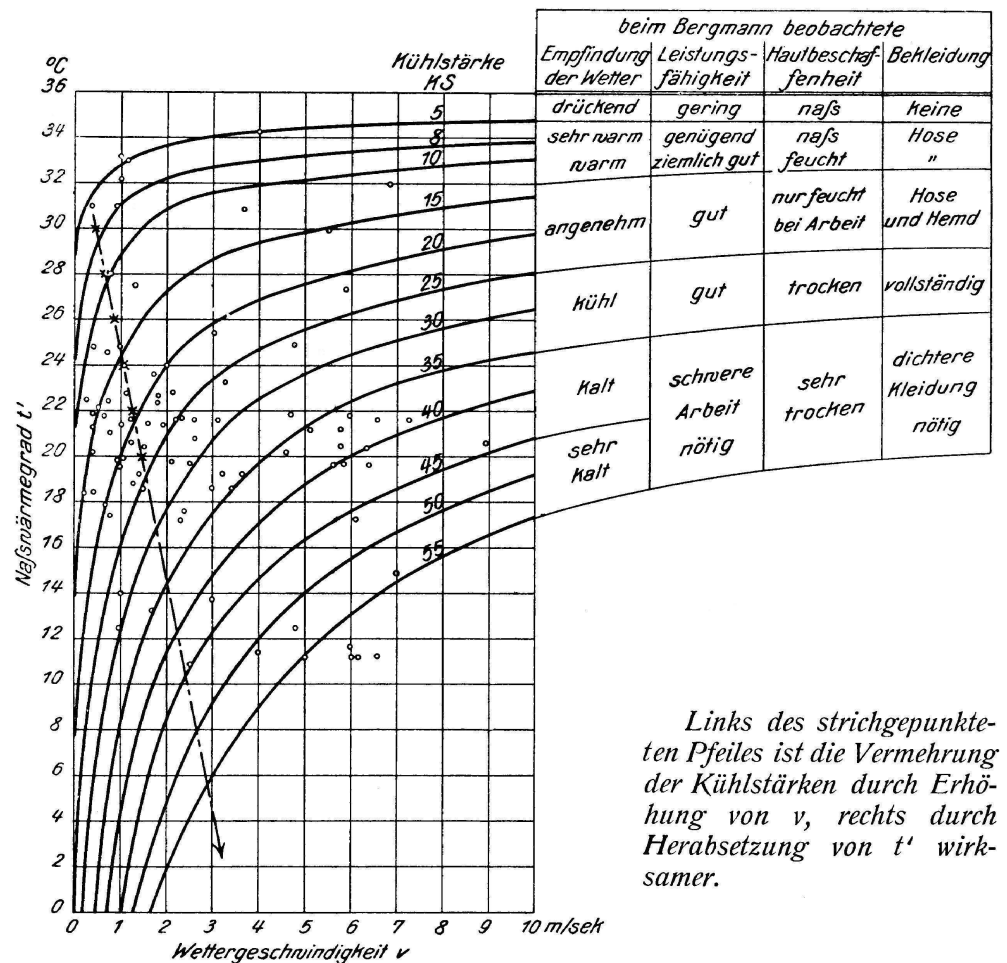
Im Abbau der Zeche Sachsen herrschten im Durchschnitt zur damaligen Zeit Trockentemperaturen von 24°C – 28°C und Feuchtigkeitsgehalte von 40 – 60%, wobei der Nasswärmegrad in diesem Bereich zwischen 18°C und 23°C schwankte.

Um den Einfluss der dritten Veränderlichen, der Wettergeschwindigkeit  $v$ , beurteilen zu können, wurden einige für verschiedene  $t$  und  $F$  gemessene 15  $KS$ -Werte eingetragen, die bei einer Wettergeschwindigkeit von  $v = 0,5$  m/sec gemessen wurden. Die Verbindung dieser Punkte ergibt die gestrichelte Linie in **Bild 3**. Die 15  $KS$ -Linie verläuft in etwa parallel zu den anderen  $KS$ -Linien und fällt ungefähr mit der 9,5  $KS$ -Linie in ruhender Luft zusammen, das heißt durch Steigerung der Wettergeschwindigkeit von 0 auf 0,5 m/sec erhöht sich die Kühlstärke um 5,5  $KS$  von 9,5 auf 15  $KS$ . Das entspricht einer Steigerung um fast 60 %.

Dieses Phänomen erklärt sich daraus, dass jeder kleinste Lufthauch, den selbst Anemometer nicht anzeigen würden, das Katathermometer derart stark entwärmt, dass die Kühlstärken um 1 – 2 KS ansteigen. Der selbe Effekt entsteht beim Menschen, der durch die Wetterbewegung entwärmt wird.

Der Ermittlung der Kühlwirkung durch Erhöhung der Wettergeschwindigkeit dienten zahlreiche Messungen auf der Zeche Sachsen.

Danach nimmt der Einfluss von  $v$  mit wachsender Geschwindigkeit der Wetter ab.



**Bild 4, Abhängigkeit der Kühlstärken (feucht) von Wettergeschwindigkeit und Nasswärmegrad (Näherungskurven)**

Das Maß der Abnahme ist in **Bild 4** zu erkennen, in der die gemessenen Kühlstärken KS in Abhängigkeit von den gleichzeitig ermittelten Geschwindigkeiten  $v$  und Nasswärmegraden dargestellt sind.

Durch Verbindung der gefundenen KS entstanden die Näherungskurven für die Kühlstärken von KS = 5 bis KS = 55.

Es wird anhand der Kurvensteigungen deutlich, dass die Zunahme der Kühlstärken durch Steigerung der Wettergeschwindigkeit umso

geringer wird je höher die Wettergeschwindigkeit  $v$  und der Nasswärmegrad sind.

Durch Interpolation sind die Grenzwerte errechnet worden, bei denen die Steigerung der Wettergeschwindigkeit um 0,5 m/sec und die Verringerung des Nasswärmegrades um 2°C die gleiche Zunahme der Kühlstärke bewirken.

Daraus resultiert der strichgepunktete Pfeil in der **Bild 4**. Links davon kann eine stärkere Zunahme der Kühlstärken durch Erhöhung der Wettergeschwindigkeiten um 0,5 m/sec und rechts davon durch Absenkung des Nasswärmegrades um 2°C erzielt werden.

Fritzsche greift im Jahr 1940 **(6)** die Frage nach der Sinnhaftigkeit der 28°C-Grenze noch einmal auf.

Er regt an, diese rein aus der Trockentemperatur abgeleitete Grenze durch eine, aus den Klimafaktoren entwickelte, Erträglichkeitsgrenze zu ersetzen.

Mit Erträglichkeitsgrenze ist der Klimazustand gemeint, bis zu dem der Bergmann seine volle körperliche Leistung erbringen kann.

### 5.3 Die Entwicklung nach dem zweiten Weltkrieg

Nach dem Krieg schließt Malter mit seinem Vortrag „Klimatechnik im Bergbau“ im Juni 1947 **(7)** an die Überlegungen an und erwähnt, wie Fritzsche, amerikanische Überlegungen zur Festlegung einer Effektivtemperatur als Klimamaßstab.

1951 befasst sich Linsel **(8)** mit der erhöhten Bedeutung des Grubenklimas, die nicht nur aus dem Teufenfortschritt im Ruhrbergbau, sondern auch aus dem Zurückbleiben von Aus- und Vorrückung in den Kriegs- und Nachkriegsjahren resultierte.

Er geht dabei auch auf die Klimamessungen ein.

Die Messung der Feucht- und Trockentemperatur erfolgte mit dem Aßmannschen Aspirationspsychrometer, die Messung der Wettergeschwindigkeit zunächst mit dem Anemometer, das allerdings keine besonders genauen Werte lieferte.

Es lag nahe, Messgeräte zu entwickeln, die die einzelnen Einflüsse zusammenfassen und in ähnlicher Größe messen, wie sie der Mensch empfindet.

Das erste Gerät war das bereits angesprochene Katathermometer, das sich aber wegen einiger Nachteile wie der Zerbrechlichkeit, der Notwendigkeit des Mitführens einer Thermosflasche mit heißem Wasser und einer Stoppuhr, der schwierigen Eichung und langer Messdauer letztlich im deutschen Steinkohlenbergbau doch nicht einbürgerte.

Wegen der Schwierigkeiten mit den frühen Gesamtmessgeräten - damit ist in erster Linie das Katathermometer als erstes Gerät dieser Art gemeint, auf andere Geräte wird später noch eingegangen – wurde deren Verwendung von Linsel (8) kritisch gesehen. Die Schwierigkeiten bestanden demnach zunächst in der Unhandlichkeit bei der Benutzung, aber auch, und das war nach Linsel gravierender, darin, dass sich ein kleiner Glaskörper in bewegter Luft anders verhält als der menschliche Körper.

Wegen der in Relation zu seinem Volumen größeren Oberfläche ist die Wärmeübergangszahl des Katathermometers gegenüber dem menschlichen Körper höher; damit wird ein zu günstiger Einfluss auf die Entwärmung suggeriert (8).

Außerdem war das Katathermometer nach damaliger Ansicht entbehrlich geworden, weil die Kühlstärke mittlerweile mit dem Aspirationspsychrometer und dem w-Messer, einem von der Wetterwirtschaftsstelle vor dem Krieg entwickelten Gerät zur zuverlässigen Messung der Wettergeschwindigkeit, hinreichend genau bestimmt werden konnte.

Mit dem Aspirationspsychrometer wird die Trocken- und die Feuchttemperatur gemessen (8).

Für den Wärmeinhalt eines Gasgemisches ist die absolute Feuchte maßgebend, für die physiologische Belastung die relative Feuchte.

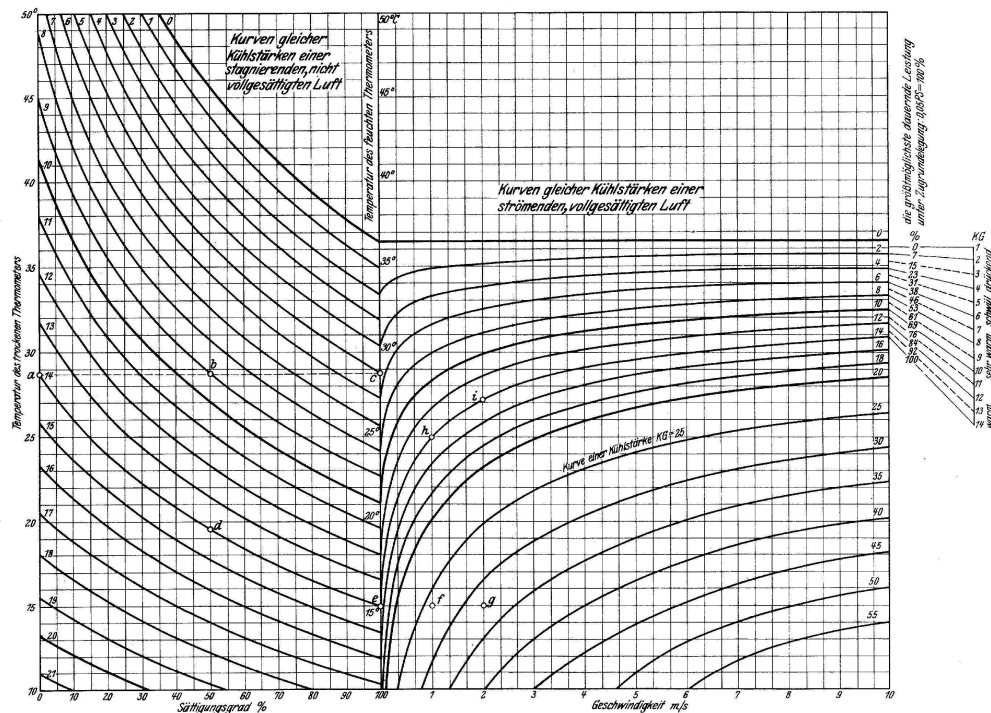
Für die Sättigungsgröße von Feuchtigkeit in den Wettern ist neben der Temperatur auch der Luftdruck von Bedeutung. Nach Linsel (8) wird daher die Feuchttemperatur - und nicht die relative Feuchte - gemessen, da in diesem Messwert der Einfluss des Druckes bereits berücksichtigt ist.

Besondere Schwierigkeiten bereitete nach Linsel die schnelle und genaue Messung der Wettergeschwindigkeiten. Da alle anemometrischen Messverfahren gewisse Ungenauigkeiten beinhalten, wurde in der „Wetterwirtschaftsstelle der Westfälischen Berggewerkschaftskasse“ vor dem zweiten Weltkrieg der bereits erwähnte w-Messer entwickelt, mit dem Wettergeschwindigkeiten in m/s gemessen werden können (8).

Da weder Thermometer noch Psychrometer in der Lage waren, den ebenfalls wichtigen Einfluss der Strahlung auf das Grubenklima zu messen, lag es nahe, Messgeräte zu entwickeln, die in der Lage waren, die einzelnen Einflüsse des Klimas zusammenzufassen und in ähnlicher Größe zu messen, wie sie der Mensch empfindet (8). Gleichzeitig würde vermieden, für die Klimamessung viele einzelne Geräte einsetzen zu müssen.

Das erste Gerät dieser Art war das Katathermometer, über das bereits berichtet wurde.

Die Auswertung erfolgte mit dem ursprünglich von Jansen auf der Zeche Sachsen entwickelten Diagramm, bzw. der Weiterentwicklung von Stočes und Černik, **Bild 5**.



**Bild 5, Kühlstärken in Abhängigkeit von Temperaturen und Wettergeschwindigkeiten**

Wegen der Schwierigkeiten mit den Gesamtmessgeräten wurde in den USA ein anderer Weg beschritten und der Begriff der Effektivtemperatur eingeführt. Die „American Society of Heating and Ventilation Engineers (ASVE)“ führte in den 1920er Jahren Versuche in Klimakammern durch, bei denen die Klimawerte künstlich so verändert wurden, dass Versuchspersonen beim Übergang von einer Klimakammer in die andere trotz unterschiedlicher Klimawerte den Eindruck gleicher klimatischer Wirkung hatten (8).

Für die Wettergeschwindigkeit 0 und 100%ige Sättigung der Wetter mit Feuchtigkeit stimmt die Effektivtemperatur der ASVE mit den Trocken- und Feuchttemperaturen überein. Ein wichtiger Vorteil der Effektivtemperatur – abgesehen von der physiologischen Sicht, auf die später noch eingegangen wird – liegt in der guten Handhabbarkeit, weil man für die Messung mit einem Psychrometer und einem Geschwindigkeitsmesser – w- Messer oder Anemometer – auskommt (8).

Die amerikanischen Untersuchungen wurden 1939 in Deutschland ausgewertet und durch eigene Messungen ergänzt, die Grundlage für eine damals geplante Neuregelung der gesetzlichen Arbeitszeit an klimatisch ungünstigen Betriebspunkten werden sollten. An den Untersuchungen waren der Bergbauverein in Essen, das physiologische Institut der Universität Göttingen, das Kaiser-Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie in Dortmund und die Wetterwirtschaftsstelle der Westfälischen Berggewerkschaftskasse beteiligt (8).

Von den beteiligten Stellen wurden verschiedene Vorschläge gemacht, die wegen des Krieges nicht umgesetzt wurden.

Nach dem Krieg wurden die Arbeiten wieder aufgenommen und der Einfluss von Luftdruck und Strahlung in die Überlegungen einbezogen (8).

Grundsätzlich vermindert der mit der Teufe wachsende Luftdruck die Aufnahmefähigkeit der Wetter für Wasser und damit die Verdunstungskühlung; bei steigendem Druck steigt, bei konstanter Feuchte, die Feuchttemperatur. Ähnlich wie das feuchte Thermometer verhält sich auch der menschliche Körper, weil er bei hohen Temperaturen und körperlicher Arbeit schwitzt und sich dadurch mit Hilfe der Verdunstungskühlung entwärmt. Der mit der Teufe zunehmende Luftdruck wirkt dann wärmestauend. Die Feuchttemperatur des Psychrometers korrespondiert mit diesen Zusammenhängen und stellt somit offenbar ein Gesamtmaß für die Trockentemperatur, die relative Feuchte und den Luftdruck dar (8).

Schon 1939 wurde vermutet, dass der Einfluss der Strahlung im Abbau und in den Gesteinsbetrieben, also in noch nicht ausgekühlten Bereichen mit hohen Gesteinstemperaturen, spürbar werden kann. Wenn die Stoßtemperatur über der Hauttemperatur liegt, geht Wärme durch Strahlung vom Gebirge auf den menschlichen Körper über. Umgekehrt kann der Mensch Wärme abstrahlen, wenn die Körpertemperatur über der Gesteinstemperatur liegt. Steigt die Trockentemperatur über 35°C, hört die Entwärmung durch Strahlung, Leitung und Konvektion auf, und es bleibt nur noch die Verdunstungskühlung als Folge der Schweißabgabe. Die Verhältnisse werden für die Bergleute dann unerträglich, wenn die Wetter mit Feuchtigkeit gesättigt sind, Hauttemperatur gleich oder niedriger als die Wettertemperatur ist und keine Wetterbewegung stattfindet (8).

Um den Einfluss der Strahlung bestimmen zu können, wurde bei der Wetterwirtschaftsstelle zunächst ein umgebauter Frigorigraf nach Büttner und Pfeleiderer verwendet, der eine von innen beheizte, hohle Kupferkugel besitzt und dessen Oberflächentemperatur mit einem Widerstandsthermometer gemessen wird. Es werden Abkühlungstemperaturen bei gleichbleibender Wärmezufuhr gemessen; das Gerät entspricht in seinem Verhalten in etwa dem menschlichen Körper bei trockener Haut. Wie bei diesem ist die Wärmezufuhr je Flächeneinheit gleichbleibend, während sich die Oberflächentemperatur unter dem Einfluss des Klimas ändert. Für Feuchtemessungen war zusätzlich ein Psychrometer erforderlich (8).

Durch den Krieg und durch die Tatsache, dass die Heizeinrichtung des Gerätes nicht mit den Schlagwetterschutzvorschriften in Einklang zu bringen war, wurden die Versuche erheblich erschwert.

Am Gerät wurden dann nach dem Krieg Veränderungen vorgenommen. Es wurde aus dem genannten Grund unbeheizt eingesetzt und bekam zur Erfassung der Feuchte einen befeuchteten Überzug. Durch den Wegfall der Heizung waren nur noch so geringe Stromstärken für die Widerstandsmessung erforderlich, dass sie keine druckfeste Kapselung als Schlagwetterschutz erforderten. Das Gerät stellt ein feuchtes Thermometer dar, das den Gesamteinfluss von Temperatur, Luftdruck und Feuchte misst und von der Wettergeschwindigkeit und der Strahlung beeinflusst wird (8).

Der Frigorigraf nach Büttner und Pfeleiderer war der unmittelbare Vorläufer des von der Wetterwirtschaftsstelle entwickelten Feuchtkugelthermometers, dessen Entwicklung auch Weuthen im Jahr 1955 beschreibt (9).

Nach den bereits von Linsel (8) aufgezeigten Veränderungen an dem Frigorigrafen erfüllte das daraus entstandene Feuchtkugelthermometer in etwa die von der Wetterwirtschaftsstelle an ein Grubenklimamessgerät gestellten Anforderungen (9).

Durch den feuchten Überzug wird berücksichtigt, dass der Bergmann an warmen Betriebspunkten weitgehend unbekleidet arbeitet und seine Haut schweißbedeckt ist (9).

Bei der Gestaltung der Kugel standen sich die Forderungen entgegen, dass die Wandstärke einerseits wegen der möglichst geringen Speichermassen und der daraus resultierenden kurzen Einstellzeiten möglichst gering sein sollte, andererseits der Schlagwetterschutz eine größere Wandstärke erfordert hätte (9).

Wie bereits erwähnt, wurde darauf hin auf die Beheizung ganz verzichtet.

Dadurch wird der Einfluss der Strahlung überbetont, weil der Temperaturunterschied an warmen Betriebspunkten zwischen der Kugel und der Umgebung, steigt. Andererseits fehlt der Einfluss der Wettergeschwindigkeit in Form von Verdunstungskühlung des erwärmten Körpers; die Wetterbewegung übt einen Einfluss auf die Temperatur des unbeheizten Körpers nur in dem Maß aus, wie ein Sättigungsunterschied zwischen der Kugeloberfläche und den umgebenden Wettern besteht (10).

Die beiden Fehler heben sich teilweise auf, so dass die Gesichtspunkte, die gegen eine Beheizung sprachen, entscheidend waren. Damit wird dann auch ein direkter Vergleich mit den gebräuchlichen Klimasummenmaßen, amerikanische und belgische Effektivtemperatur, möglich.

Die belgische Effektivtemperatur ( $t_{\text{eff B}}$ ), über die an anderer Stelle schon berichtet wurde, setzt sich zusammen aus einem Anteil der Feuchttemperatur und einem Anteil der Trockentemperatur ( $t_{\text{eff B}} = 0,9 t_f + 0,1 t_{\text{tr}}$ ). Auf den Einfluss der Wettergeschwindigkeit wurde unter der Annahme verzichtet, dass unter Tage aus anderen Gründen ohnehin eine Mindestgeschwindigkeit eingehalten werden muss (9).

Das unbeheizte Feuchtkugelthermometer ist mit dem Feuchtthermometer eines Psychrometers vergleichbar mit dem Unterschied, dass bei einem Psychrometer der Einfluss der Strahlung bewusst vermieden und durch eine Lüftung die Kühlgrenze erreicht wird.

Beim Feuchtkugelgerät geht der Einfluss der Geschwindigkeit durch die Größe und freie Aufstellung der Kugel in den Messwert ein, und die Kühlgrenze wird erst bei Wettergeschwindigkeiten von 4 bis 5 m/s erreicht. Der Einfluss der Wärmestrahlung wird über die Kugelgröße in etwa wie beim menschlichen Körper berücksichtigt (9).

Das Feuchtkugelthermometer liefert eine physikalische Messgröße – unter Berücksichtigung von Temperatur, Feuchte, Wettergeschwindigkeit,



Wärmestrahlung und Luftdruck -, deren Beziehungen zur Physiologie des Menschen dadurch erreicht wird, dass das Gerät mit seinen Kenngrößen für den Wärme- und Stoffaustausch denen des menschlichen Körpers angepasst ist. Das Feuchtkugelthermometer zeigt direkt den Klimasummenwert  $t_{FK}$  an **(9)**, für dessen Ermittlung keine weiteren Auswertungen erforderlich sind.

Brüner **(10)** sieht im Jahr 1960 die Amerikanische Effektivtemperatur als den Klimasummenwert, der den Zusammenhang zwischen Klima und physiologischer Belastung am besten wiedergibt.

Auf die physiologischen Zusammenhänge wurde an anderer Stelle bereits eingegangen.

Brüner definiert Klimabereiche, innerhalb derer in Abhängigkeit von Leistung und Zeit eine bestimmte bergmännische Arbeit gefordert werden kann, und grenzt sie durch entsprechende Werte der Effektivtemperatur ab **(10)**. In der weiteren Folge wurden diese Klimabereiche Bestandteil der Bergverordnung, mit der, neben der Trockentemperatur, die Klimaarbeit auch aktuell noch geregelt ist.

#### **5.4 Aktueller Stand und Ausblick**

Wie bereits erwähnt, basieren auch die aktuellen gesetzlichen Regelungen für die Arbeit an klimabelasteten Arbeitsplätzen im deutschen Steinkohlenbergbau auf der Festlegung der Klimagrenzen mit Hilfe der Trockentemperatur und der Effektivtemperatur **(11)**.

Die Effektivtemperatur als Klimawert wird aus der Trockentemperatur, der Feuchttemperatur und der Wettergeschwindigkeit mit dem Verfahren nach Yaglou ermittelt.

Die Beschäftigungszeit in den durch Trocken- und Effektivtemperatur festgelegten Klimabereichen wird in der Bergverordnung zum Schutz der Gesundheit gegen Klimaeinwirkungen vom 9. Juni 1983 geregelt **(11)**.

Die Verordnung enthält auch Regelungen für den Salzbergbau, in denen ein allgemeines Beschäftigungsverbot erst oberhalb einer Trockentemperatur von 52°C bzw. einer Feuchttemperatur von 27°C enthalten ist **(11)**.

Hintergrund für die höheren Temperaturgrenzen, vor allem für die Trockentemperatur, sind die besonderen Verhältnisse im Salzbergbau.

Brune und Psotta **(14)** berichten, dass Kali- und Steinsalzgruben hohe Trockentemperaturen von im Mittel 36°C bis höchstens 48°C aufweisen, aber sehr geringe relative Feuchten von je nach Jahreszeit 17 bis 26%. Zusätzlich durch den hohen Grad der Mechanisierung waren die Klimaverhältnisse für die Bergleute erträglich; die ärztlichen Untersuchungen

ergaben fast keine vorsorglichen Bedenken für die Weiterbeschäftigung von Bergleuten an warmen Betriebspunkten (14).

Wärmebelastete Arbeitsplätze sind nicht nur im Bergbau zu finden; im Rahmen des europäischen Forschungsprogramms BIOMED 2 wurde ein Verfahren entwickelt, das eine Beurteilung der Wärmebelastung – beschrieben durch die wesentlichen Beanspruchungsgrößen Körpertemperatur und Schweißproduktion – durch das Klima ermöglicht (12, 13). Für das Wärmebilanzmodell wurde der Begriff Predicted Heat Strain-Index (PHS) gewählt.

Das PHS-Modell, das sowohl die Klimagrößen Temperatur, Luftfeuchte, Wettergeschwindigkeit und Wärmestrahlung als auch personenbezogene Größen wie die Arbeitsschwere, die Bekleidung und den Grad der Akklimatisation berücksichtigt, ist zur Zeit „Stand der Technik“. Die Prognose physiologischer Beanspruchungsgrößen kann daraus abgeleitet werden, die dann als Grundlage für die Entwicklung von Arbeitszeit-Pausen-Modellen geeignet ist (12, 13).

Das PHS-Modell ist zwar genauer als die herkömmlichen Modelle, erfordert jedoch einen erheblich höheren Aufwand als zum Beispiel das durch die Klima-Bergverordnung vorgeschriebene Verfahren zur Ermittlung der Effektivtemperatur nach Yaglou.

Südafrikanische Untersuchungen machten deutlich, dass die Körpermasse eines Bergmannes eine große Rolle bei der Belastung durch das Klima spielt.

Bei der in Südafrika praktizierten Akklimatisierung in Klimakammern werden leichtere Bergleute durch die größere Tritthöhen belastet. Im konkreten Betriebsgeschehen kann dann auf die größere Körpermasse schwerer Bergleute keine Rücksicht mehr genommen werden, weil die Umgebungseinflüsse an einem Betriebspunkt für alle dort Tätigen gleich sind. Dadurch sind schwerere Bergleute stärker belastet als leichtere.

Das gilt besonders auch für Situationen, in denen die Bergleute aus gefährdeten Bereichen fliehen müssen.

## **5.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

*Auf den tiefen, warmen Bergwerke des östlichen Ruhrreviers wurden wesentliche Pionierarbeiten zur Erfassung und Quantifizierung der Klimawerte geleistet, die auch Grundlage für die Entwicklung geeigneter Klimamaßstäbe waren.*

*Bei der Entwicklung der Klimamesstechnik wurden mit dem Ziel, einen möglichst großen Zusammenhang zwischen den physikalischen Messgrößen und den physiologischen Reaktionen herzustellen, zwei grundsätzliche Wege beschritten:*

- *Durch Untersuchungen in Klimakammern wurden empirisch Ergebnisse gefunden, die Basis für die Entwicklung von Klimawerten*

*waren. So wurde die Amerikanische Effektivtemperatur als immer noch aktueller Klimawert geschaffen, der mit den physikalischen Größen Trockentemperatur, Feuchttemperatur und Wettergeschwindigkeit bestimmt wird.*

- *Es wurden physikalische Messverfahren entwickelt, die eine Anpassung an das menschliche Empfinden dadurch anstreben, dass ein Messgerät verwendet wird, dessen Kenngrößen für den Wärmeaustausch mit denen des menschlichen Körpers übereinstimmen. Daraus ist unter anderem das Feuchtkugelgerät entstanden.*

*Der Grundgedanke des Feuchtkugelthermometers war es, ein Summenmessgerät für den deutschen Steinkohlenbergbau zu entwickeln, das die Klimagrößen Temperatur, Feuchte, Wettergeschwindigkeit, Wärmestrahlung und Luftdruck in einem Messwert – ohne weitere Auswertungen – erfasst und daher einfach zu handhaben ist.*

*Frühe Gesamtmessgeräte – von denen das Katathermometer die größte Bedeutung hatte – konnten sich im Ruhrrevier für die Beschreibung des Klimas und seiner Auswirkungen auf den Menschen auf Dauer nicht durchsetzen, vor allem weil ihre Handhabung als zu aufwändig empfunden wurde. In anderen Ländern, zum Beispiel Südafrika, ist das Katathermometer aber weiterhin ein sehr gebräuchliches Instrument.*

*Die Amerikanische Effektivtemperatur als Klimasummenwert, gibt den Zusammenhang zwischen Klima und physiologischer Belastung sehr gut wieder und wird daher auch aktuell, zusammen mit der Trockentemperatur, in der Klima-Bergverordnung verwendet, um Klimabereiche zu definieren, durch die die Klimaarbeit geregelt wird.*

*Für die zukünftige Regelung der Klimaarbeit wurde auf internationaler Ebene das PHS-Modell entwickelt, das auf der Basis einer Wärmebilanzbetrachtung physiologische Beanspruchungsgrößen prognostiziert.*

### **Literatur:**

- (1) Nasse, R.: Ueber den Feuchtigkeitsgehalt der Grubenwetter, Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Deutschen Reich 1888, S. 179 - 186
- (2) Heise, F. und F. Herbst: Zur Frage der Begründung eines sanitären Maximalarbeitstages für Bergwerke, Glückauf 1905, S. 596 - 601
- (3) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 613 - 616
- (4) Winkhaus, H.: Gesamtwärme und Kühlleistung in tiefen, heißen Gruben, Glückauf 1923, S. 233 - 240
- (5) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 83 - 97

- (6) Fritzsche,H.: Heutiger Stand und Zukunftsmöglichkeiten der Wetterkühlung in heißen Gruben, Glückauf 1940, S. 149 - 157
- (7) Malter,W.: Klimatechnik im Bergbau, Kältetechnik 1948, S. 55 - 61
- (8) Linsel,E.: Das Grubenklima, Glückauf 1951, S.677 - 688
- (9) Weuthen,P.: Die Entwicklung der Klimamessung im deutschen Steinkohlenbergbau, Glückauf 1955, S.117 - 129
- (10) Brüner,H.: Physiologische Grenzen und Bereiche für das Arbeiten in warmem Klima, Glückauf 1960, S. 686 - 690
- (11) Bergverordnung zum Schutze der Gesundheit gegen Klimaeinwirkungen vom 9. Juni 1983
- (12)Gebhardt,H.; Kampmann,B.; Müller, B.H.: Arbeits- und Entwärmungsphasen in wärmebelasteten Arbeitsbereichen, Informationsdienst „Ergonomie“, Ausgabe 2/ 2007
- (13) Kampmann,B.: Zur Physiologie der Arbeit in warmem Klima. Ergebnisse aus Laboruntersuchungen und aus Feldstudien im Steinkohlenbergbau, Habilitationsschrift, Wuppertal, 2000
- (14) Brune,H. und Psotta,M.: Grubenklima und Wetterführung im Kali- und Steinsalzbergbau Niedersachsens, Glückauf 1975, S. 169 - 175

#### **Bilder:**

**Bild 1:** Katathermometer, Stočes,B. und Černik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 160

**Bild 2:** Beziehung zwischen Nasswärmegrad  $t'$  und Kühlstärken KS (feucht) in ruhender Luft ( $v = 0$  m/sec), Jansen,F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 90

**Bild 3:** Nasswärmegrad  $t'$  und Kühlstärken KS (feucht) in Abhängigkeit von Temperatur  $t$  und relativer Feuchtigkeit  $F$ , Jansen,F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 91

**Bild 4:** Abhängigkeit der Kühlstärken (feucht) von Wettergeschwindigkeit und Nasswärmegrad (Näherungskurven), Jansen,F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 91

**Bild 5:** Kühlstärken in Abhängigkeit von Temperaturen und Wettergeschwindigkeiten, Stočes,B. und Černik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, Tafel I

## **6. Entwicklung seit dem 19. Jahrhundert**

### **6.1 Tiefe Gruben weltweit und dortige Maßnahmen**

#### **6.1.1 Kühlung mit Eis im 19. Jahrhundert**

Die Problematik hoher Temperaturen unter Tage taucht schon im 19. Jahrhundert auf. Herbst (1) und Kohl (2) berichten über das Gold- und Silberbergwerk auf dem Comstock-Gang im Washoe Mining District (USA), das in einem jungvulkanischen Gebiet baut und daher zur Teufe hin eine außergewöhnliche Temperaturzunahme aufweist. In einer Teufe von 500 m betrug die Gesteinstemperatur bis zu 87°C. Häufig wurden Quellen mit nahezu Siedetemperatur angefahren.

Daraus resultierten sehr hohe Wettertemperaturen; 38°C war ein normaler Wärmegrad und galt noch als erträglich.

Trotz verstärkter Wetterführung lag die mittlere Temperatur in 500 m Teufe bei 44°C, die in langen Querschlägen und tieferen Gesenken auf mehr als 50°C, stellenweise bis auf 65°C anstieg.

Aus dem Jahr 1878 berichtet Kohl (2), dass neben der starken Wetterführung natürliches Eis eingesetzt wurde, um die Wärmeeinwirkungen zu mildern: „Neben einer Reihe von Maßnahmen (wie reichlicher Bewetterung u.a.) gab man der Belegschaft Eiswasser, das sowohl getrunken als auch zum Begießen des Körpers verwendet wurde, und Eisstücke, die in den Hut und in die Taschen gesteckt und auch vor den Mund gebunden wurden. Überall, wo die Leute sich während der Ruhepausen aufhielten, waren Fässer voll mit Wasser und Eis so reichlich gefüllt, dass man sich in beliebiger Menge bedienen konnte. An Ruhestationen waren im frischen Wetterstrom große Tonnen mit mächtigen Eisblöcken aufgestellt. Das Eis wurde im Winter gewonnen und von Gesellschaften zu 25 bis 35 Dollar je t täglich geliefert.“

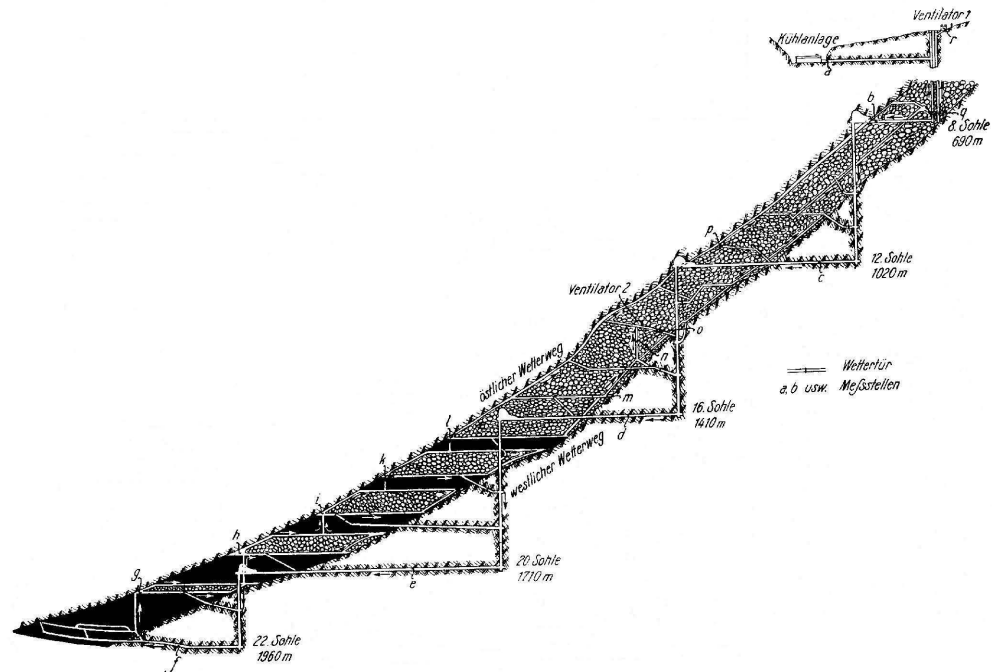
Die Verhältnisse auf dem Comstock-Gang waren einmalig und extrem. Die aufwändige und teure Bekämpfung der Temperaturschwierigkeiten war aber durch die hohen Gehalte von 33 g Gold /Tonne und 0,8 kg Silber /Tonne gerechtfertigt.

#### **6.1.2 Die erste Kälteanlage im Bergbau**

Ein weiterer Versuch, die Betriebspunkte mit Eis zu kühlen, wurde nach Winkhaus (3) um 1914 auf der brasilianischen Goldgrube Morro Velho unternommen. Dadurch wurden die Wetter aber so feucht, dass die Arbeiter darum baten, den Versuch abubrechen. Sie wollten lieber in heißen, trockenen als in feuchten, schwach gekühlten Wettern arbeiten.

Daraufhin plante man ab 1915 eine zentrale Kühlanlage.

Die Grube Morro Velho im brasilianischen Staat Minas Gerais hatte, wie Winkhaus (3) berichtet, im Jahr 1922 eine Teufe von 1.960 m (1.110 m unter NN) erreicht, siehe **Bild 1**.



**Bild 1, Wetterführung auf der Grube Morro Velho**

Die Wetterverhältnisse waren entsprechend schwierig; allerdings lag die geothermische Tiefenstufe bei 42,7 m.

Der Abbau ging zwischen der 22. und 17. Sohle mit Sohlenabständen von 100 m um. Der Erzgang wurde im Querbau hereingewonnen und die Hohlräume mit Fremdbergen versetzt.

Nachdem ursprünglich nur ein Grubenlüfter über Tage im Einsatz war, wurde im Jahr 1920 ein zweiter auf der 14. Sohle aufgestellt, wodurch sich eine Erhöhung der Gesamtwettermenge auf 2.265 m<sup>3</sup>/min ergab.

Um die Klimaverhältnisse und ihre Auswirkungen auf die Menschen beurteilen zu können, wurden täglich auf allen Sohlen und im Ein- und Ausziehstrom die absoluten Temperaturen, die Nasswärmegrade – das sind die am feuchten Thermometer gemessenen Temperaturen – und die absoluten Feuchtigkeitsgehalte bestimmt.

Die absoluten Temperaturen stiegen bis zur tiefsten Sohle auf 39°C an und fielen danach wieder auf Grund der Wasserverdunstung und der abnehmenden adiabatischen Verdichtung. Dieser Temperaturverlauf blieb über das ganze Jahr in etwa gleich.

Bei den Nasswärmegraden hingegen ergaben sich über das Jahr erhebliche Schwankungen. Da der Verlauf der absoluten Temperaturen gleich blieb und es sich um eine trockene Grube handelte, konnten die Veränderungen nur durch die Feuchtigkeitsgehalte der angesaugten Wetter entstehen.

Die Verhältnisse wurden besonders unerträglich, wenn in den feuchtheißen Sommermonaten nach heftigen Regenfällen plötzlich die Sonne durchbrach, mit dem Effekt der starken Wasseraufnahme in die Atmosphäre.

Die Feuchtigkeitsgehalte in den angesaugten Wettern schwankten zwischen 4,5 g/m<sup>3</sup> und 21 g/m<sup>3</sup>.

Als erträglich wurde ein Nasswärmegrad von 29,5°C angenommen. Aus den Messungen ergab sich, dass dieser Wert überschritten wurde, sobald der Feuchtigkeitsgehalt der angesaugten Wetter 13,2 g/m<sup>3</sup> überstieg; das war in acht Monaten des Jahres der Fall.

Abhilfe war nur möglich entweder durch noch weitere Erhöhung der Wettermenge, was auf Grund der geringen Schachtdurchmesser nicht möglich war, oder durch Trocknung der Wetter am Einziehschacht.

Grundsätzlich wäre auch ein chemisches Trocknungsverfahren möglich gewesen, es wurde jedoch ein physikalisches gewählt, um die Außenluft so herabzukühlen, dass sie einen Feuchtigkeitsgehalt von nur 8g/m<sup>3</sup> hatte.

Das wäre bei einer Temperatur von 7,5°C der Fall gewesen.

Die installierte Kälteanlage war jedoch so leistungsfähig, dass sie die Außenluft auf 6°C herabkühlen konnte.

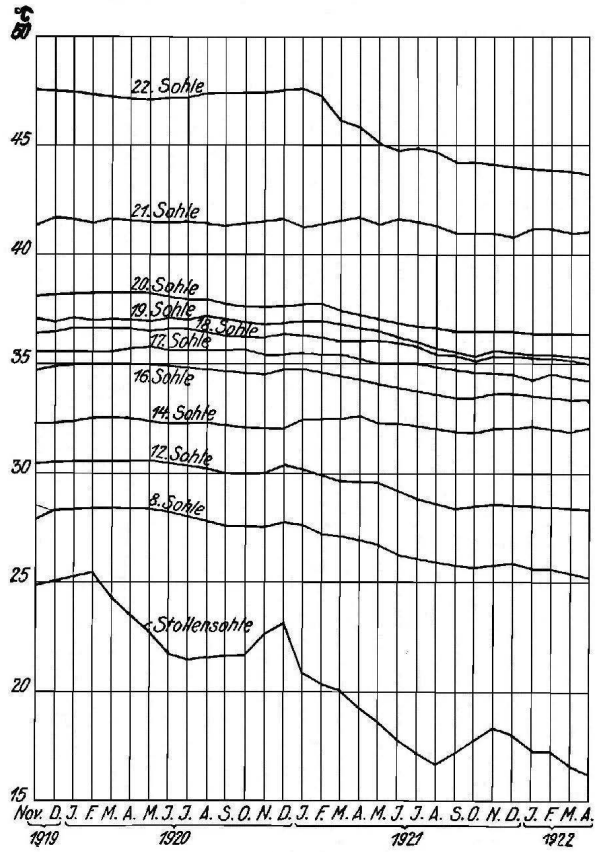
Dieser Wert bezog sich auf den maximalen Nasswärmegrad von 22,2°C. Der mittlere Nasswärmegrad lag tatsächlich jedoch bei 14°C, so dass die Anlage noch eine gewisse Reserve aufwies.

Die Anlage war über Tage aufgestellt und bestand aus einer Gruppe von sechs Ammoniak-Kältemaschinen, in denen Wasser gekühlt wurde (2).

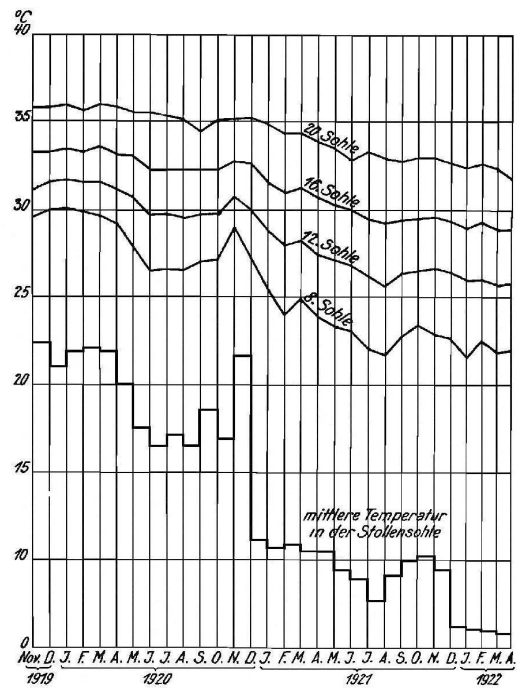
Die gesamte Wettermenge von 2.265m<sup>3</sup>/min wurde durch scheibenförmige Metallkörper geleitet, die aus spiralförmig aufgerolltem Stahlband bestanden und sich mit der unteren Hälfte in dem stark gekühlten Wasser bewegten.

Diese erste Kälteanlage im Bergbau weltweit lief im Oktober 1920 für mehrere Stunden täglich an. Ab Dezember 1920 lief der Dauerbetrieb mit einer Austrittstemperatur von zunächst 10°C und ab Dezember 1921 mit der Austrittstemperatur von 6°C.

Die Erfolge waren nach Winkhaus (3) beachtlich. Die **Bilder 2** und **3** zeigen, dass die Temperaturen nach Inbetriebnahme der Anlage sofort rückläufig waren, in den Wettern natürlich spontaner als im Gebirge.



**Bild 2, Die Gebirgstemperatur auf den einzelnen Sohlen**



**Bild 3, Die Wittertemperatur auf den einzelnen Sohlen**



Kohl (2) berichtet, dass die Nasswärmegrade in den Abbauen, als Indikator für die Klimabelastung des Menschen, die früher bis zu 32°C aufwiesen, im klimatisierten Betrieb nie mehr als 26,7°C erreichten; in den Vorrichtungsbetrieben wurden nach der Entfeuchtung nie mehr als 29°C gemessen gegenüber vorher ebenfalls über 32°C.

Der wirtschaftliche Erfolg zeigte sich darin, dass die Jahresförderung nach der Inbetriebnahme der Kühlanlage bei gleicher Belegschaft um 12% stieg, gleichzeitig nahm die Zahl der schweren Unfälle stark ab.

Im Jahr 1930 wurde die 26. Sohle in einer Teufe von 2.325 m aufgefahren (2). Die Gesteinstemperaturen betragen 54,5°C und die Wettertemperaturen bis zu 52°C.

Nachdem die erste Kühlmaschine vorrangig den Zweck der Luftentfeuchtung hatte, wurde im Jahr 1929 eine Kühlmaschine in 1770 m Teufe aufgestellt, die der direkten Wetterkühlung diene. Der Aufstellungsort wurde gewählt, weil die Wetter im Schacht bis dahin bereits einen großen Teil der Erwärmung erfahren hatten.

Für die Aufstellung unter Tage kam Ammoniak als Kältemittel natürlich nicht mehr in Frage. So wurde zunächst Dichloräthylen und später Monofluortrichlormethan eingesetzt (4).

Ein Teil des Gesamtwetterstromes wurde durch einen Ventilator angesaugt, gekühlt und dem Wetterstrom wieder zugemischt. Dadurch ließ sich die Wettertemperatur auf der Schachtsohle bei 32,2°C halten.

Im Jahr 1924 ging dann die weltweit zweite im Bergbau genutzte Kälteanlage auf der Zeche Radbod in Betrieb. Dieser erste Versuch im Ruhrbergbau wird unter **Punkt 6.2** dargestellt.

### 6.1.3 Frühe Wetterkühlung in Südafrika

Über viele Jahrzehnte wurde Wetterkühlung in großem Umfang nur im Goldbergbau Südafrikas wegen der dortigen großen Teufen, die in den 1920er Jahren bereits bei über 2.000 m lagen, betrieben.

Wegen der größeren geothermischen Tiefenstufe von über 100 m steigt die Gesteinstemperatur zwar langsamer, die adiabatische Verdichtung der Wetter wirkt sich aber zur Gänze aus.

Kohl (2) berichtet über eine Kühlanlage, die 1928 für die Anglo-American Corporation of South Africa Ltd. Johannesburg gebaut und ab 1929 (4) in einem 2.000 m tiefen Goldbergwerk eingesetzt worden ist. Es handelte sich um eine kleine Luftexpansionsmaschine, die nur in der Lage gewesen sein kann, unter Tage einen Teilstrom vor Eintritt in die Baue zu kühlen.

In einem anderen Goldbergwerk, der Village Deep Mine am Witwatersrand, mit einer durchschnittlichen Teufe von rd. 2000 m Ende der 1920er Jahre herrschten Trockentemperaturen von etwa 28 bis 32°C und Nasswärmegrade von etwa 27 bis 32°C (2).

Um die Arbeitsbedingungen erträglich zu halten, wurde nach Kohl (2) neben der Erhöhung der Wettermenge die Verwendung von Eis und eisgekühltem Wasser eingeführt. In den Vorrichtungsbetrieben wurde das Eis in den Vorderteil der Lutten gelegt, mit denen die Vortriebe blasend sonderbewettert wurden.

An der Luttenmündung erreichte man dadurch eine Temperatursenkung um 3 bis 4°C, in einer Entfernung von 15 m wurde eine Kühlung von etwa 1,4°C erzielt.

In Auf- und Abhauen ließ man Druckluft aus der Hilfsventilatorleitung auf Eis strömen, das nahe der Ortsbrust aufgehängt war.

In einer Reihe von Abhauen, durch die Wetter in die Abbaubetriebe geführt wurden, wurde eisgekühltes Wasser zerstäubt (2). Das Wasser wurde am Kopf der Abhauen in Behältern mit Eis von etwa 29°C auf etwa 7°C gekühlt und dann in Abständen von 6 bis 7 m mit Hilfe von Streudüsen zerstäubt.

Trocken- und Nasswärmegrad nahmen allmählich ab, was mit der Ausbildung eines Kältemantels zu erklären ist.

Die Trockentemperatur soll als Folge dieser Klimatisierungsmaßnahme um 3 bis 4°C und der Nasswärmegrad um 3°C verringert worden sein.

Die Kühlmaßnahmen mit Eis haben nach Kohl zweifellos gegriffen, es wurden bis zu 30 t Eis/Tag verbraucht. Anfang der 1930er Jahre wurde die Eiskühlung eingestellt, vermutlich weil der Einsatz von kleinen, lokalen Kältemaschinen erwogen wurde.

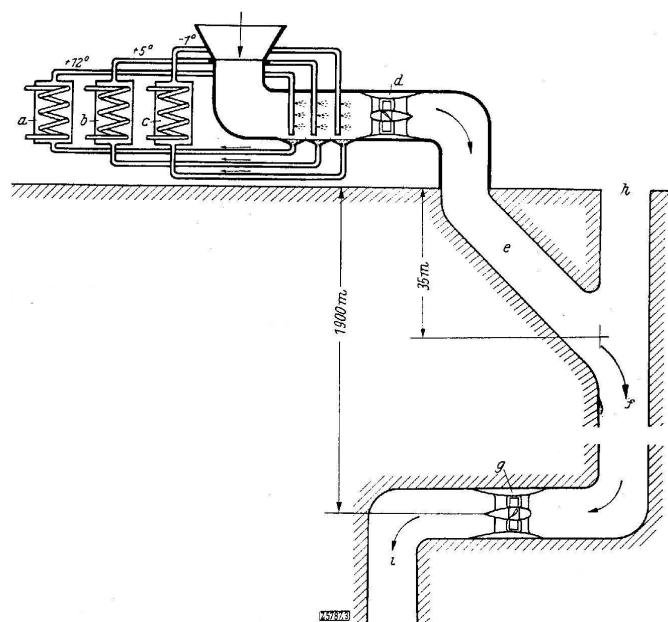


Bild 4, Schema der Klima-Anlage an der Robinson Deep Mine, Südafrika

Mitte der 1930er Jahre sind am Witwatersrand in Südafrika mehrere Wetterkühlanlagen in Betrieb gegangen. Die größte war nach Plank **(4)** die Anlage der Robinson Deep Mine (**Bild 4**), in der die Gesamtwettermenge von 11.500 m<sup>3</sup>/min gekühlt und getrocknet wurde. Als Kältemaschinen dienten drei zweistufige Turboverdichter mit 750 PS installierter elektrischer Leistung. Die stündliche Kälteleistung betrug 6 Mio. kcal. In den drei Verdampfern **a**, **b** und **c** werden die Flüssigkeiten, in der ersten Stufe Wasser, in der zweiten und dritten Stufe Sole, auf etwa -1°C herabgekühlt und anschließend im Nassluftkühler **d** in drei Streudüsenstufen zerstäubt, durch die die einziehenden Wetter hintereinander strömen und dabei stufenweise abgekühlt werden, auf etwa +7°C im Sommer und +3°C im Winter. Die Wetter werden durch zwei Lüfter mit 100 PS-Motoren in einen Wetterkanal geleitet, der in 35 m Teufe in den seigeren Hauptschacht einmündet, und dort von dem Hauptlüfter **g** angesaugt, der in 1.900 m Teufe aufgestellt ist.

Die oberen Lüfter sind so eingestellt, dass etwa 1% der gekühlten Wetter durch den Hauptschacht nach oben entweichen; dadurch entfällt die Notwendigkeit eines Schachtdeckels, weil durch den leichten Überdruck keine ungekühlten Wetter angesaugt werden können.

Durch die gleichzeitige Wettertrocknung wurden 8g Wasser/m<sup>3</sup> Wetter bzw. 5.500 l Wasser/h abgeschieden. Nur hierfür wurde eine Kältemenge von 3 Mio. kcal/h benötigt.

Laut Fritzsche **(5)** war die Kühlanlage ein Erfolg. Nach dreijähriger Betriebszeit konnte angenommen werden, dass die Nasswärmegrade in den ungünstigen Abbauen um etwa 3°C gesenkt werden konnten. Die Förderung konnte um 20% gesteigert werden bei gleicher Belegschaft, die Erkältungskrankheiten wurden mehr als halbiert, Hitzeschläge kamen nicht mehr vor.

Einschränkend ist anzumerken, dass gleichzeitig mit der Inbetriebnahme der Kühlanlage die Wettermenge von 7.700 m<sup>3</sup>/min auf 11.500 m<sup>3</sup>/min angestiegen ist und ein Teil der Kühlerfolge darauf zurückzuführen ist. Mittelbar ist aber die Kühlung wieder an einem Teil der Wettermengenerhöhung beteiligt, weil der größere Temperaturunterschied zwischen Ein- und Ausziehstrom den natürlichen Wetterzug verstärkt.

#### **6.1.4 Frühe Wetterkühlung in den USA**

Ebenfalls in den 1930er Jahre liefen erste Versuche in den USA mit künstlicher Wetterkühlung und zwar in der 1.220 m tiefen Kupfergrube Magma in Arizona mit Gesteinstemperaturen bis zu 60°C, wo ab 1936 je eine Wetterkühlmaschine auf der 1.020 m und der 1.080 m-Sohle arbeitete **(6)**.

Sowohl die Trockentemperatur als auch der Nasswärmegrad konnten um jeweils etwa 5°C gesenkt werden. Die Verbesserung durch die Wetterkühlung wirkte sich nach Pohl **(6)** nicht nur auf die besseren Arbeitsbedingungen und damit auch bessere Leistungsfähigkeit aus, sondern verkürzte auch die Zeitspanne zwischen der Vorrichtung und dem Beginn des Abbaus. Mussten in

der Zeit vor der Wetterkühlung etwa vier Jahre in den vorgerichteten Gangstücken vergehen, bevor das Gebirge soweit ausgekühlt war, dass der Abbau beginnen konnte, schrumpfte diese Spanne mit der künstlichen Wetterkühlung auf ein halbes Jahr.

In dem sehr druckhaften Gebirge war die Einsparung an Unterhaltungsaufwand beträchtlich.

Ein besonderes Beispiel für die frühe Klimatisierung stellt nach Fritzsche (5) der Bergbau in den Kupfergruben der Anaconda Copper Mining Co. von Butte in Montana dar.

Das Besondere ist, dass die natürlichen Bedingungen Risiken und Chancen in extremer Ausprägung beinhalten.

Das granitische Nebengestein der Kupfererzgänge ist jungvulkanisch und deshalb noch nicht stark ausgekühlt. Die geothermische Tiefenstufe beträgt 16 bis 20 m, so dass in 1.000 m Teufe die Gesteinstemperatur bereits 50°C überschreitet. Durch diese hohen Gesteinstemperaturen sind am Fuße des 1.000 m tiefen Einziehschachtes jahreszeitliche Temperaturschwankungen höchstens noch 2 bis 5°C. Selbst bei einer extremen Außentemperatur von -37°C waren die Wetter im Füllort der 1.000 m-Sohle noch 18°C warm.

Die aus dem Gebirge austretenden Wässer sowie die Oxydation der Sulfidminerale als exothermer Prozess sind weitere Wärmequellen (5).

Andererseits liegt Butte auf einer Seehöhe von 1.800 bis 2.000 m mit der Jahresdurchschnittstemperatur von +4°C und starken Schwankungen zwischen -35°C im Winter und +32°C im Sommer.

Die hohen Temperaturen unter Tage und die kühlen Temperaturen über Tage ließen die Idee wachsen, die Klimatisierung der Grube mit Hilfe der kühlen Außenluft durchzuführen.

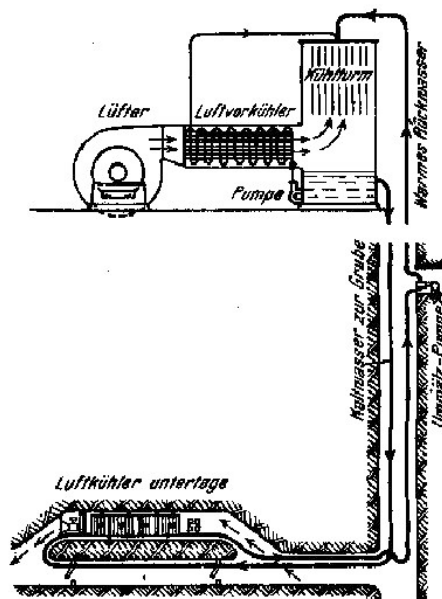


Bild 5, Wetterkühlanlage der Kupfergruben von Butte (Montana)

Die wesentlichen Bestandteile der Kühlanlage (**Bild 5**) sind der Kühlturm über Tage, die Luftkühler als Oberflächenkühler unter Tage und die isolierten Rohre für den Kühlwasserkreislauf zwischen über und unter Tage mit der Umwälzpumpe. Außer den Pumpen und Lüftern waren keine Maschinen erforderlich.

In einem gewöhnlichen Kühlturm kann das Wasser theoretisch bis auf den Nasswärmegrad der Außenluft herabgekühlt werden. Im Winter war der Nasswärmegrad in Butte so niedrig, dass die Kühlwirkung ausreichte. Im Sommer allerdings, in dem ohnehin eine höhere Kühlleistung erforderlich ist, lag der Nasswärmegrad der Außenluft bei 15°C. Wenn man den Wirkungsgrad der Kühlturmanlage und die Temperaturzunahme um etwa 5°C in der Falleitung bis zur tiefsten Sohle berücksichtigt, trat der Kälte Träger mit etwa 22°C in die Luftkühler ein, eine Temperatur bzw. Temperaturdifferenz zu den zu kühlenden Wettern, die bei weitem nicht ausreichte (**5**).

Es musste nun Aufgabe des Kühlverfahrens sein, eine weitere Abkühlung des Kälte Trägers Wasser zu erreichen.

Das geschah im Prinzip in zwei Kreisläufen (**Bild 5**). Einmal wurde das warme Rückwasser in den Kühlturm geleitet und fiel dort im Gegenstrom gegen die aufsteigende Luft, die im Luftvorkühler über Kühlschlangen gekühlt worden ist.

Das Wasser für die Kühlschlangen stammte aus dem Kühlturmsumpf, aus dem auch das Kaltwasser zur Grube entnommen wurde.

Die angesaugte Luft kühlte sich an den Kühlschlangen ohne Änderung ihres Wasserdampfgehaltes ab und strömte dann im Kühlturm nach oben gegen das warme Wasser. Dadurch erwärmte sich die Luft nicht nur wieder, sondern sie nahm auch Wasserdampf auf. Dadurch wurde dem Wasser Wärme entzogen. Es kam in diesem zweiten Kreislauf also zunächst zu einer Abkühlung der Luft zu Lasten des Wassers und im Kühlturm zur Erwärmung und Aufnahme von Wasserdampf durch die Luft. Die Differenz zwischen den Wärmegehalten war das Maß, das für die zusätzliche Kühlung des Wassers zur Verfügung stand. Mit diesem Verfahren konnte auch in den Sommermonaten das Wasser auf durchschnittlich 10°C herabgekühlt werden.

Die Kühlanlage in der Grube bestand nach Fritzsche (**5**) aus einer Gruppe von 4 Oberflächenkühlern mit kupfernen Rohrschlangen, die nacheinander vom Kühlwasser durchlaufen wurden, und zwar im Gegenstrom zu den zu kühlenden Wettern, so dass die heißen Wetter zunächst auf das schon erwärmte Kühlwasser trafen und bis zum letzten Oberflächenkühler entsprechend herabgekühlt wurden.

Die Anlage lief nach Fritzsche (**5**) mit gutem Erfolg; die Trockentemperatur konnte im Durchschnitt von 30°C auf 27°C und der Nasswärmegrad von 28,5°C auf 25,5°C herabgekühlt werden.

### **6.1.5 Wetterkühlung in Südafrika nach dem 2. Weltkrieg**

Bis zum Beginn der 1970er Jahre wurde Wetterkühlung in großem Umfang nur in den Goldminen Südafrikas betrieben (**7**).

Wagner (8) beschreibt die Situation in den 1980er Jahren, die sich im Goldbergbau Südafrikas, in dem die Wetterkühlung die größte Bedeutung erlangte, nach dem zweiten Weltkrieg entwickelt hatte.

Danach wurden drei grundsätzliche Methoden der Wetterkühlung angewendet:

- die direkte Kühlung der einziehende Wetter an der Tagesoberfläche oder in den Hauptstrecken unter Tage
- die Abkühlung der Wetter unmittelbar vor dem Abbau durch ein Netzwerk von Wärmetauschern
- die Kühlung des Service-Wassers für das Besprühen der Ortsbrust und des Haufwerks nach dem Sprengen, die Staubbekämpfung und das Nassbohren.

Seit den 1970er Jahren kam es nach Wagner (8) in Südafrika zu einem starken Anwachsen der Kühlleistung für die tiefen Goldbergwerke. Der Zuwachs entfiel fast ausschließlich auf über Tage installierte Kühlanlagen zur Erzeugung kalten Wassers (chilled water), das unter Tage in Wärmetauschern genutzt wird, in denen den Wettern durch direkten Kontakt die Wärme entzogen wird, oder als gekühltes Service-Wasser.

Der Standort der Kälteanlage über Tage hat gegenüber unter Tage nach Wagner den Vorteil, dass die installierte elektrische Leistung wegen der geringeren Ansaugtemperatur effizienter genutzt werden kann und die Abwetter nicht mit der zusätzlichen Abwärme aus den Kälteanlagen belastet werden.

Außerdem kann die potentielle Energie des über Tage gekühlten Wassers durch den Betrieb von Energierückgewinnungsturbinen unter Tage genutzt werden; dadurch wird eine Erwärmung des Wasser durch Umwandlung von kinetischer Energie vermieden.

Nach Wagner hat sich ein solches System im tiefen Goldbergbau Südafrikas als Standardsystem etabliert, in dem das gekühlte Wasser in isolierten Leitungen verteilt wird. Voraussetzung war die Entwicklung effizienter Wärmetauscher, in denen das gekühlte Wasser direkt in die vorbeiziehenden Wetter gesprüht wird.

Eine Weiterentwicklung war nach Wagner (8) das System Hydro-Power, das in den 1980er Jahren auf Initiative der „Research Organisation of the Chamber of Mines of South Africa“ entwickelt und erstmals im „Three Shaft, Kloof Mine“ eingesetzt wurde.

Beim Hydro-Power-System wird über Tage gekühltes Hochdruckwasser, bei dessen Druckerhöhung die potentielle Energie durch die große Teufe genutzt wird, sowohl für die Kühlung der Grube als auch für den Antrieb von Maschinen, Ersatz von Druckluft und elektrischer Energie, und andere Zwecke verwendet. Dabei übersteigt nach Wagner in sehr tiefen Gruben die für die Kühlung erforderliche Wassermenge die für den Antrieb erforderliche. Dieses zusätzlich zur Verfügung stehende Hochdruckwasser kann dann für den

Antrieb von Maschinen, die sonst elektrisch angetrieben worden wären, genutzt werden, z. B. Ventilatoren oder Schrapper.

Im südafrikanischen Goldbergbau wird seit den 1980er Jahren Eis als Kälteträger für die Wetterkühlung erfolgreich genutzt.  
Unter **Punkt 7.1.3.5.2** wird auf dieses Verfahren noch näher eingegangen.

## **6.1.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

*Die reichen Edelmetallgehalte rechtfertigten den großen Aufwand, der in einigen Bergwerken für die Wetterkühlung getrieben wurde. Zunächst wurde weltweit das naheliegendste Mittel zur Senkung der Wassertemperaturen eingesetzt: die direkte Anwendung von Eis oder eisgekühltem Wasser.*

*Dieses Verfahren war aber teuer und führte da, wo ohnehin schon hohe Feuchtigkeitsgehalte in den Wettern vorhanden waren, zu nicht mehr erträglichen Arbeitsbedingungen.*

*Zunächst bezogen sich die Maßnahmen zur Klimabeherrschung im wesentlichen auf die Bekämpfung der Wärmewirkungen und nicht auf die Reduktion des Wärmezufusses.*

*Seit den 1920er Jahren waren die Grundprinzipien der Wetterkühlung bekannt und auch angewendet worden.*

*1920 lief die erste Kälteanlage im Bergbau weltweit auf der brasilianischen Grube Morro Velho an und war zunächst hauptsächlich zur Wettertrocknung vorgesehen.*

*Die Einführung der Kältetechnik erfolgte von Anfang an auf der Basis umfangreicher Messungen der Trocken- und Feuchttemperaturen.*

*Eine stärkere Anwendung der Kühltechnik erfolgte zunächst nicht, weil andere, wettertechnische Maßnahmen, auf die in diesem Kapitel nicht näher eingegangen wird, in der Lage waren, die Arbeitsbedingungen für die Bergleute erträglich zu gestalten (siehe **Punkt 7.1**).*

*Bis Anfang der 1970er Jahre hatte die Wetterkühlung nur in dem tiefen Goldbergbau Südafrikas eine größere Bedeutung, die bis heute fortbesteht, auch in Form des Hydro-Power-Systems mit der Nutzung gekühlten Hochdruckwassers als Kühl- und Antriebsmedium.*

*Während im Ruhrrevier die Spritzkühlung zunächst wegen der ohnehin hohen Feuchtigkeitsgehalte in den Wettern nicht weiter verfolgt wurde, wird sie in Südafrika wegen der dort trockenen Wetter erfolgreich angewendet.*

*Grundsätzlich gab es keine universelle Lösung für die Klimaproblematik. Entscheidend für den eingeschlagenen Weg waren die unterschiedlichen Umweltbedingungen, im wesentlichen waren das die Parameter*

- *Teufe*
- *Geothermische Tiefenstufe*
- *Klimatische Bedingungen an der Tagesoberfläche*
- *Wasserzuflüsse aus dem Gebirge.*

*Im Besonderen taucht die Frage auf, warum die in Südafrika erzielten Erfolge durch gekühltes Betriebswasser nicht auf den deutschen Steinkohlenbergbau zu übertragen sind.*

*Neben der allgemeinen Belastung der Wetter durch Feuchtigkeit ist die Menge des verwendeten Betriebswassers – und damit die Menge des zur Verfügung stehenden Kältemediums – von Bedeutung.*

In Südafrika fallen große Mengen an Betriebswasser – neben dem Antriebswasser aus dem System Hydro-Power – beim nassen Bohren und systematischen Befeuchten des Haufwerks vor dem Wegladen an. Eine Besonderheit ist die Unterstützung der Schrapperarbeit durch Wasserstrahlen – water jet assisted stope cleaning **(9)**.

Messungen ergaben, dass die Schrapperleistung dadurch von 13 t/h auf 20 t/h beim Abbau von Golderz gesteigert werden konnte. Der Wasserverbrauch je Wasserpistole beträgt 3 – 4 l/s **(9)**.

*Die erfolgreiche Anwendung der Klimatisierung wirkte sich sowohl positiv auf die Produktivität als auch auf sinkende Unfallziffern aus.*

### **Literatur:**

**(1)** Herbst,F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 429 - 436

**(2)** Kohl,E.: Eis- und Kältemaschinen im Dienste des Bergbaus, Zeitschrift für die gesamte Kälteindustrie 1934, S. 42 - 45

**(3)** Winkhaus,H.: Die Wetter-Kühlanlage der brasilianischen Grube Morro Velho, Glückauf 1922, S. 1197 - 1201

**(4)** Plank,R.: Klima-Anlagen in Bergwerken, VDI-Zeitschrift 1939, S.1021 - 1029

**(5)** Fritzsche,H.: Heutiger Stand und Zukunftsmöglichkeiten der Wetterkühlung in heißen Gruben, Glückauf 1940, S. 181 - 189

**(6)** Pohl,H.: Die Wetterkühlung, eines der Probleme des Bergbaus in großen Teufen, Kohle und Erz 1939, S. 71 - 76

**(7)** Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen,1981, S.110

**(8)** Wagner,H.: The challenge of deep-level mining in South Africa, Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy, vol. 86, no. 9, Sept. 1986, Seiten 377 - 392



(9) Application Report No. 20, September 1988, Chamber of Mines of South Africa, Research Organization (COMRO)

**Bilder:**

**Bild 1** Wetterführung auf der Grube Morro Velho, Winkhaus,H.: Die Wetter-Kühlanlage auf der brasilianischen Grube Morro Velho, Glückauf 1922, S. 1197

**Bild 2** Die Gebirgstemperatur auf den einzelnen Sohlen; Winkhaus,H.: Die Wetter-Kühlanlage auf der brasilianischen Grube Morro Velho, Glückauf 1922, S. 1200

**Bild 3** Die Wettertemperatur auf den einzelnen Sohlen; Winkhaus,H.: Die Wetter-Kühlanlage auf der brasilianischen Grube Morro Velho, Glückauf 1922, S. 1200

**Bild 4** Schema der Klima-Anlage an der Robinson Deep Mine, Südafrika; Plank,R.: Klima-Anlagen in Bergwerken, VDI-Zeitschrift 1939, S.1026

**Bild 5** Wetterkühlanlage der Kupfergruben von Butte (Montana); Fritzsche,H.: Heutiger Stand und Zukunftsmöglichkeiten der Wetterkühlung in heißen Gruben, Glückauf 1940, S. 186

## **6.2 Historische Entwicklung der Klimatisierung in Deutschland**

### **6.2.1 Die Zeit vor dem ersten Weltkrieg**

Bereits Ende des 19. Jahrhunderts hatte es im Ruhrbergbau durch die Ausweitung der Produktion und das Fortschreiten in die Teufe eine erste „Hitzewelle“ gegeben (5).

#### **6.2.1.1 Erste Überlegungen zur Verbesserung der Wetterführung und des Grubenklimas**

Es wurden daher erste Überlegungen angestellt, wie man der Wettererwärmung und damit der Belastung der Bergleute begegnen könnte.

Nach Dr. Tübben wurde „die Erzeugung eines regen künstlichen Wetterwechsels allgemein als das für den praktischen Grubenbetrieb geeignetste Hilfsmittel angesehen“ (1).

In den ersten Jahrzehnten seit dem Auftauchen hoher Temperaturen wurden daher in erster Linie Maßnahmen ergriffen, die der Verbesserung der Wetterführung dienten.

Durch die Vergrößerung der Grubenweiten, insbesondere durch das Abteufen neuer Wetterschächte, und der Wettermengen, durch Abkürzung der Wetterwege und Vergrößerung der Streckenquerschnitte, war es in den meisten Fällen gelungen, der Wärmeentwicklung zu begegnen und die klimatischen Verhältnisse dadurch in etwa erträglich zu gestalten.

Durch die zunehmende Teufe und Ausdehnung der Grubenbaue wurde es aber in einigen Fällen schwierig, den weit entlegenen Grubenbauen ausreichend kühle Wetterströme zuzuführen.

Die wettertechnischen Probleme resultierten in diesen Fällen hauptsächlich daraus, dass sich die Wetterstreckenquerschnitte und Wettergeschwindigkeiten nicht in dem Maß erhöhen ließen, wie es auf Grund der zunehmenden Teufe und Verlängerung der Wetterwege erforderlich gewesen wäre.

#### **6.2.1.2 Berieselung**

Die Niederschlagung des anfallenden Kohlenstaubs in den Gruben erfolgte anfangs ausschließlich durch Benetzung mit Wasser. Dazu wurden Wasserbrausen bzw. -düsen verwendet. Die Bergwerke, in denen die Kohlenstaubbekämpfung auf diese Weise erfolgte, wurden als Berieselungsgruben bezeichnet.

Die großen Mengen an Wasser bewirkten nicht nur die gewünschte Kohlenstaubbinding, sondern auch die Verdunstung des Wassers und damit Erhöhung der Feuchtigkeitsgehalte in den Wettern.

Der dabei auftretende Effekt der Temperaturverringerung – gemeint ist die Trockentemperatur – durch die Verdunstungskälte wurde schon früh festgestellt.

Die planmäßige Anwendung der Spritzkühlung zur Senkung der Trockentemperatur wurde vor allem dort für sinnvoll erachtet, wo damit Schichtzeitverkürzungen vermieden werden konnten. Dieser Vorteil wurde jedoch mit einer höheren Klimabelastung der Bergleute durch steigende Feuchtigkeitsgehalte der Wetter erkaufte, die sich negativ auf das Leistungsvermögen auswirkte.

#### **6.2.1.3 Kühlung des Spritzwassers für die Berieselung**

Bereits 1899 wurden von Tübben (1) Überlegungen angestellt, wie – mit Nutzung der Berieselung - eine Abkühlung der Wetter unabhängig von der Wetterführung gewährleistet werden könnte.

Die erste Möglichkeit war die Berieselung der Arbeitsstöße mit künstlich gekühltem bzw. unterkühltem Spritzwasser. Der Zusammenhang zwischen der dadurch erhöhten Luftfeuchtigkeit und der Belastung des Menschen wurde zu dieser Zeit noch nicht betrachtet.

Das in den Berieselungsanlagen verbrauchte Wasser wird mit Rohrleitungen vor Ort geführt. Damalige Messungen haben ergeben, dass selbst bei entlegenen Betriebspunkten das zugeführte Wasser noch nicht die Temperatur der Grubenluft angenommen hat und daher für den gewünschten Abkühlungseffekt sorgen kann.

Es gab aber bereits Vorschläge, die Abkühlungswirkung in den Berieselungsanlagen weiter zu verstärken. Voraussetzung dafür war, dass das zu versprühende Medium eine niedrigere Temperatur hat, d.h. vorher heruntergekühlt wird.

Tübben (**I**) schlägt vor, mit der – im Oberbergamtsbezirk Dortmund bereits weit verbreiteten – Druckluft die Abkühlung des Spritzwassers in Sammelbassins bzw. Vorratssümpfen durchzuführen.

Voraussetzung für die Kühlwirkung der Druckluft ist ihre Entspannung auf den normalen Atmosphärendruck.

Das könnte in einem Röhrensystem erfolgen, das an die Druckluftleitung angeschlossen ist und sich trompetenförmig erweitert, mit dem Effekt der Abkühlung. Dieses Röhrensystem ist in dem abzukühlenden Wasser verlegt bzw. wird von diesem im Gegenstromverfahren umflossen.

Die Alternative wäre, die Druckluft in ein trichterförmiges Gehäuse am Boden eines Wasserbassins oder Sumpfes münden zu lassen, in dem die Druckluft entspannt und direkt in das Wasser, mit dem erwünschten Kühleffekt, ausströmt.

Voraussetzung für die Kühlung des Spritzwassers auf unter 0°C wäre die Beigabe von Kochsalz, Chlorcalcium, Chlormagnesium oder einer anderen geeigneten Chemikalie, die das Erstarren des Wassers verhindern würde.

Das Berieseln der Arbeitsstöße sollte neben der direkten Abkühlung der Wetter einen Kältemantel bilden, mit dem die Strahlungswärme verringert werden sollte.

#### **6.2.1.4 Die Verwendung „flüssiger Luft“**

Als Alternative zur Berieselungstechnik mit Wasser wurde von Tübben (**I**) das Verdunsten bzw. Ausströmenlassen von „flüssiger Luft“ vorgeschlagen. Nachteil der flüssigen Luft waren die Herstellungskosten.

Die Effekte des Übergangs vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand beim Verdunsten sind:

1. Es wird aus der Umgebung eine große Wärmemenge gebunden, d.h. die Umgebung wird abgekühlt.
2. Das Volumen dehnt sich auf ein Vielfaches aus.
3. Der im Vergleich zur atmosphärischen Luft höhere Sauerstoffgehalt wird an die Umgebungsluft abgegeben.

Neben der erwünschten Abkühlung wird außerdem erreicht, dass matte Wetter umgewandelt werden können, einmal durch das Ausströmen der Luft an sich aber auch dadurch, dass bei der Verflüssigung von Luft der Sauerstoffgehalt ansteigt, weil Sauerstoff im Vergleich zu Stickstoff leichter zu verflüssigen ist und deshalb beim Ausströmen der Sauerstoff überrepräsentiert ist.

Zur Verringerung der Schlagwettergefahr trägt einmal die Wetterverdünnung durch das Vergasen der „flüssigen Luft“ bei, aber auch die Abkühlung, die die Reaktionsfähigkeit des Luft-Gas-Gemisches verringern soll.

Druckluft sieht Tübben nicht als Alternative zur „flüssigen Luft“, weil

- die Reibungsverluste in den Rohrleitungen erheblich sind
- Druckluft gegenüber der „flüssigen Luft“ keinen überproportional hohen Sauerstoffgehalt hat
- der Temperaturunterschied gegenüber der zu kühlenden Umgebung geringer ist.

#### **6.2.1.5 Betriebliche Bemühungen zur Wetterkühlung**

Trotz der Anwendung wettertechnischer Maßnahmen wurden – besonders für die Bergwerke mit extremen klimatischen Verhältnissen – seit etwa Ende des 19. Jahrhunderts die Möglichkeiten der Grubenklimatisierung diskutiert.

Von Anfang an wurden hauptsächlich zwei grundsätzliche Möglichkeiten betrachtet:

- Die Verwendung von hochgespannter und getrockneter Luft, der Druckluft oder nach damaligem Terminus der Pressluft; darauf wird hier nicht näher eingegangen.
- Die Verwendung von Kältemaschinen.

Auch bei den betroffenen Bergwerken selbst war die Wetterkühlung Anfang des 20. Jahrhunderts bereits ein Thema.

Das Protokoll einer Besprechung zwischen dem Werksleiter des Bergwerks Werne und Vertretern der Bergbehörde am 21. Juni 1909 beinhaltet unter anderem: „Geheimer Oberbergat Meißner hält es darauf überhaupt für erforderlich, dass die Verwaltung einmal Versuche anstelle, um die Temperatur der Wetter mittels künstlicher Kühlung herab zu setzen. Auf andere Weise werde es wohl kaum möglich sein, für einen günstigen Effekt geeignete kühle Wetter bis an die Abbaubetriebe zu bringen. Direktor Eickelberg gibt darauf an, dass für die 1.000 m-Sohle solche Versuche geplant seien.“(2)

### 6.2.1.6 Erster Vorschlag für eine Kälteanlage

1911 befassen sich Rossenbeck und Rath mit der Frage der künstlichen Kühlung von Grubenwettern (3). Sie weisen darauf hin, dass durch die Novelle des § 93c des ABG vom 14. Juli 1905, die bestimmt, dass „für Arbeiter, welche an Betriebspunkten, an denen die gewöhnliche Temperatur mehr als + 28° C beträgt, nicht bloß vorübergehend beschäftigt werden, die Arbeitszeit sechs Stunden nicht übersteigen darf“, erhebliche Schwierigkeiten für die Bergwerke entstehen. Diese resultieren aus den höheren Kosten für die Betriebe, weil für die gleiche Produktion ein erhöhter Personalaufwand notwendig wird, aber auch der schwierigen Organisation des Betriebsablaufes – weil kein Bergwerk für alle Untertagebereiche Temperaturen von über 28° C hat und damit auch nicht überall Kurzschichten - durch die unterschiedlich langen Schichtzeiten: Eine Vielzahl von Seilfahrtszeiten, erhöhter Aufwand für die Arbeitszeiterfassung, Ausgabe von Lampen. Material usw.

Die hohen Temperaturen, gemeinsam mit der dadurch höheren Wasseraufnahme der Wetter, gefährden die Gesundheit der Arbeiter und beeinträchtigen die Leistungsfähigkeit.

Als Alternative zu den bereits bekannten Maßnahmen greifen Rossenbeck und Rath die Idee der künstlichen Raumkühlung in Kühlhäusern, Krankenhäusern, Schlachthöfen usw. auf, für die von einigen Unternehmen in dieser Zeit die Technik entwickelt wurde. Sie gehen der Frage nach, ob diese Technik auf die Klimatisierungsbedürfnisse des Bergbaus übertragen werden kann.

In der Kälteindustrie hatten sich die Kompressionsmaschinen als der billigste und betriebssicherste Typ herauskristallisiert und wurde damit auch als der für den Bergbau geeignetste angesehen – in der Klimatechnik auch heute noch das Standardverfahren.

Kompressionsmaschinen nutzten als Kälte Träger damals Äther, Methyläther, Ammoniak, Kohlensäure und schweflige Säure, im Wesentlichen die drei letztgenannten Flüssigkeiten. Die schweflige Säure wurde von Rossenbeck und Rath in ihrem Vorschlag favorisiert, weil sie gegenüber den anderen Flüssigkeiten folgende Vorteile hat:

- Sie greift die Metalle nicht an; daher kann Kupfer in den Wärmetauschern verwendet werden.
- Schweflige Säure hat Schmiereigenschaften; deshalb kann auf einen Teil der Ölschmierung verzichtet werden.
- Eine Kältemaschine kann wegen der chemischen und physikalischen Eigenschaften der Kältemittel mit einem wesentlich geringeren Druck betrieben werden als eine Ammoniak- oder Kohlensäuremaschine. Der

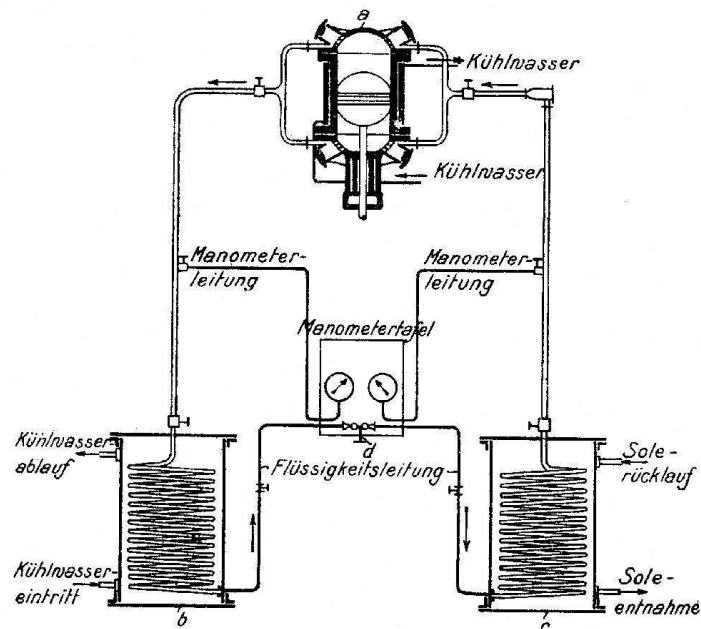
daraus resultierende geringere Betriebsdruck trägt zur allgemeinen und Betriebsicherheit der Anlage im Untertagebetrieb bei.

- Durch den dadurch einfacheren Aufbau der Kältemaschine mit schwefliger Säure ist sie relativ leicht zu bedienen.

Der Nachteil, dass schweflige Säure bei Leckagen austreten könnte, wird von den Verfassern als nicht so gravierend angesehen: „Da der stechende Geruch des Gases etwaige Undichtigkeiten sofort anzeigen wird, kann man für ihre schleunige Beseitigung Sorge tragen“.

Später wurden im Bergbau andere Kältemittel eingesetzt (4).

Der Aufbau der von Rossenbeck und Rath (3) vorgeschlagenen Kompressionskälteanlage ist in **Bild 1** dargestellt.



**Bild 1, Anordnung einer Kompressionskälteanlage**

Sie funktioniert nach dem Linde-Verfahren. Der Kompressor **a** saugt das dampfförmige Kältemittel, die schweflige Säure, aus dem Verdampfer **c** ab, verdichtet es und drückt es in den Kondensator **b**. Hier wird die komprimierte Säure durch ein Rohrsystem geleitet, das von außen gekühlt wird. Durch den Druck und die entzogene Wärme kondensiert das Kältemittel und wird durch ein Regulierventil dem Verdampfer zugeführt. Es durchströmt das Rohrsystem des Verdampfers von unten nach oben bei erheblich geringerem Druck als dem, der im Kompressor herrscht. Im Gegenstrom wird das Rohrsystem vom Kälte Träger, in diesem Fall eine Sole um bei Temperaturen unter 0° C das Erstarren zu vermeiden, umflossen.

Das Kältemittel verdampft wegen des geringeren Druckes, und die Expansionskälte entzieht ihrer Umgebung, dem Kälte Träger, Energie und kühlt sie dadurch ab. Das Kältemittel wird wieder vom Kompressor angesaugt, und der Prozess beginnt von Neuem.

Der Kälte­träger, das ist das Medium, das kalt genug sein muss, um die Wärme aufzunehmen, die man von einem zu klimatisierenden Ort entfernen will, wird dem Luftkühler zugeführt, in dem die eigentliche Wetterkühlung erfolgt. Die Wetterkühlung geschieht in einem offenen System, dem „Regenluftkühler“, oder in einem geschlossenen System von Kühlschlangen. Für den Untertageeinsatz wird der Rohrkühler als geeigneter angesehen, vor allem, weil bei ihm kaum Verluste an Kälte­träger zu befürchten sind.

Die Kältemaschine selbst soll elektrisch angetrieben und in der Maschinenkammer untergebracht werden, die mit explosions­sicheren Türen zu verschließen ist.

In einer Beispielrechnung haben Rossenbeck und Rath für die Abkühlung eines Wetterstroms von 600 m<sup>3</sup>/min mit 25°C und einem Feuchtigkeitsgehalt von 85% auf 20°C einen Kälteaufwand von 56.000 Frigorien (ca. 234.500 kJ) für die eigentliche Kühlung und ~ 50.000 Frigorien (ca. 209.000 kJ) für die Kondensation des Wassers errechnet.

Nach den Erfahrungen der Firma Borsig benötigte man für die Erzeugung von etwa 110.000 Frigorien (ca.460.500 kJ) in der Stunde einen elektrischen Antrieb für Kompressor, Pumpe usw. von 50 PSe (ca. 37,3 kW).

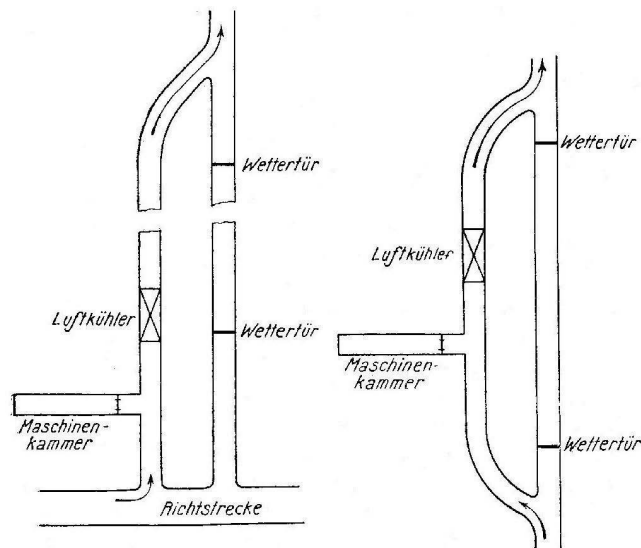
Es wird unterstellt, dass unter Tage ausreichend Kühlwasser für den Kompressor zur Verfügung steht und bei einer ausreichend leistungsfähigen Wasserhaltung durch die Hebung des Wassers keine Mehrkosten entstehen, weil es ohnehin gehoben werden müsste.

Sollte Wasser aus dem Leitungsnetz entnommen werden müssen, wäre über einen geschlossenen Kreislauf mit der Aufstellung der Kühlanlage über Tage zu befinden. Dann könnte auch die Aufstellung des Kompressors über Tage sinnvoll sein mit kurzen Wegen für das Kühlwasser und Transport des Kältemittels über Rohrleitungen nach unter Tage.

In einer Wirtschaftlichkeitsrechnung mit ausreichendem Anfall von Kühlwasser unter Tage, auf die hier im Einzelnen nicht eingegangen werden soll, werden den Anschaffungskosten für die Anlage in Höhe von rd. 52.000 Mark und jährlichen Betriebskosten von rd. 23.000 Mark Minderkosten von rd. 80.000 Mark je Jahr gegenübergestellt, die sich aus der längeren Arbeitszeit der Beschäftigten ergeben.

Unter diesen modellhaften Annahmen hätte sich die Anlage nach einem Jahr bereits amortisiert. Diese hoffnungsvollen Ansätze bestätigten sich so in den folgenden Jahrzehnten leider nicht.

Bemerkenswert sind die bereits erwähnten Vorschläge von Rossenbeck und Rath für die Anordnung der Kühlaggregate, die bis heute wenig an Aktualität verloren haben (**Bild 2**).



**Bild 2, Lage und Bewetterung des Kühlraums**

Bei kurzen Abteilungsquerschlägen ist die Unterbringung der Luftkühler in einem Begleitquerschlag sinnvoll (linke Darstellung), bei langen Abteilungsquerschlägen die Auffahrung von Umtrieben weiter im Feld (rechte Darstellung) (**Bild 2**).

Um den Wetterstrom durch den Begleitquerschlag bzw. den Umtrieb zu zwingen, wird der Abteilungsquerschlag mit zwei Wettertüren verschlossen.

Da der Grundsatz bestehen soll, dass die Wiedererwärmung der Wetter bis zum Erreichen des zu kühlenden Ortes möglichst gering sein soll, muss die Wetterkühlung möglichst nah an die Betriebspunkte herangeführt werden – später würde man das Verfahren als „Feldkühlung“ bezeichnen.

Die Vorschläge von Rossenbeck und Rath (**3**) führten noch nicht unmittelbar zu einer betrieblichen Umsetzung, waren aber ein wichtiger Impuls für die weiteren Entwicklungen.

Durch den ersten Weltkrieg wurde die Behandlung des Themas zunächst zurückgestellt.

*Für die Beherrschung des Grubenklimas wurden bis zum ersten Weltkrieg jedoch bemerkenswerte Erkenntnisse gewonnen. Die Wirkung des Grubenklimas wurde nicht mehr nur auf die Höhe der Trockentemperatur bezogen, sondern es wurde schon die Wirkung einer zweiten wichtigen Einflussgröße, der Feuchtigkeit, auf den arbeitenden Menschen erkannt, was allerdings in der Gesetzgebung keine Berücksichtigung fand.*

*Als wirksames Mittel gegen die durch die Zunahme der Förderung und der Teufen ausgelöste „erste Hitzewelle“ wurde die Wetterführung in den Bergwerken verbessert, in erster Linie durch das Abteufen zusätzlicher Wetterschächte und die Vergrößerung der Wettermengen. Als wirkungsvollste Maßnahme zur Vermeidung klimatischer Schwierigkeiten wurde die*



*ausreichende Versorgung der Arbeitsplätze mit kühlen Wetter bereits erkannt und nach Möglichkeit angewendet.*

*Für die Fälle, in denen die ausreichende Wetterversorgung nicht möglich war, wurden technische Lösungen für die Kühlung der Wetter vorgeschlagen.*

*Im Vordergrund stand zunächst die Nutzung der Spritzkühlung, auch mit zusätzlicher Kühlung des Spritzwassers. Wegen der Belastung des Grubenklimas, bei den ohnehin schon hohen Feuchtigkeitswerten in den Wetter, hatte die Spritzkühlung zunächst keine Bedeutung mehr im Ruhrbergbau. Sie wurde aber später im südafrikanischen Goldbergbau, unter allerdings günstigeren Voraussetzungen, wieder angewendet.*

*Ebenfalls vor dem ersten Weltkrieg wurde der Einsatz einer Kälteanlage zur Wetterkühlung vorgeschlagen, allerdings kam es nicht mehr zu einer betrieblichen Umsetzung – die erfolgte erst nach dem Krieg.*

## **6.2.2 Die Zeit nach dem ersten Weltkrieg**

### **6.2.2.1 Systematik von Prof. Herbst zur Wetterkühlung**

Im Jahr 1920 beschäftigte sich Prof. Herbst sehr eingehend mit der Wärme in tiefen Gruben und ihrer Bekämpfung (5)(6)(7).

Herbst kommt zu einer Systematik der künstlichen Grubenkühlung. Zunächst stellt er nach dem Kriterium der Feuchtigkeit der Wetter und dem Umfang, in dem eine Kühlung angestrebt werden muss, vier Hauptgruppen der zu kühlenden Gruben auf:

- a) Gruben mit künstlicher Befeuchtung (Berieselung)
- b) Feuchte Gruben
- c) Trockene Gruben
- d) Gruben mit natürlicher Trocknung der Wetter (hygroskopische Gruben)

Die Gruben der Gruppen c) und d) sind im Wesentlichen Steinsalz- und Kaligruben, deren Verhältnisse sich auf den Steinkohlenbergbau nicht übertragen lassen.

Von Interesse sind hier die Gruppen a) und b).

In die Gruppe a) fallen alle Steinkohlengruben, die zur Berieselung verpflichtet sind. Die Berieselung hat zwar den Effekt, dass die Temperaturen durch die Verdunstung des Wassers abgesenkt werden; aber andererseits steigt der Sättigungsgrad der Wetter so, dass die Klimabelastung in der Regel wächst.

Diese Gruben wenden daher die Berieselung nicht wegen klimatischer Effekte an, sondern zur Bindung und Niederschlag des Kohlenstaubes.

Unter die Gruppe b) fallen die übrigen Steinkohlengruben.

Nach dem Umfang der Kühlung zeigt Herbst zwei grundsätzliche Möglichkeiten auf:

- a) Zentralkühlung der ganzen Grube
- b) Sonderkühlung einzelner Bauabteilungen

Die Zentralkühlung wird dann erforderlich, wenn bereits im Füllortbereich die zulässigen Temperaturen überschritten werden – im Jahre 1920 noch in weiter Ferne.

Die Kühlung nach b) wird von Herbst nochmals unterteilt in:

- 1. Füllortkühlung
- 2. Feldkühlung

Bei der Füllortkühlung wird der Wetterstrom gleich an seinem Anfang, dem Füllort, gekühlt, d. h. die gesamte Wettermenge des Teilstroms ist zu kühlen. Daraus resultiert ein großer Kälteaufwand; andererseits ist die technische Durchführung einfacher, da lange Rohrleitungen und Pumpen entfallen. Die gekühlten Wetter bauen auf ihrem Weg feldwärts den bereits beschriebenen Kältemantel im Gebirge auf. Dabei nehmen sie zwar Wärme auf; der Kältemantel hat aber mit seiner Pufferwirkung nach einiger Zeit eine wichtige Funktion für die Kühlhaltung der Grube. Das Fortschreiten des Kältemantels in das Gebirge wird von Herbst mit etwa 5,5 cm je Tag angegeben.

Bei der Feldkühlung setzt die Wirkung tatsächlich erst im Feld an. Dadurch können die einzelnen Teilströme bedarfsgerecht gekühlt werden, mit dem Effekt eines geringeren Kälteaufwandes. Größer wird jedoch der Aufwand für die langen Rohrleitungen bis zu den Luftkühlern und für die erforderlichen Pumpen.

Gänzlich entfällt der Effekt eines Kältemantels, der regulierend auf die Kühlung einwirken könnte. Die Feldkühlung ist ein nur in der Zeit der direkten Anwendung laufender Prozess. Wird die Kühlung eingestellt, bleibt ihre Wirkung sofort aus, während bei der Füllortkühlung so lange eine Kühlwirkung der Wetter nachlaufen würde bis der Kältemantel aufgebraucht wäre.

Die Kühlung der Wetter bedeutet häufig, dass der Taupunkt des darin enthaltenen Wassers unterschritten wird. Für die Kondensation dieses Wassers ist nennenswerte Energie erforderlich. Das Wasser nehmen die Wetter auf ihrem Weg in die Betriebspunkte auf; vor allem in den Berieselungsgruben

kann dadurch bei der Feldkühlung der Aufwand unverhältnismäßig hoch werden.

Daraus ließe sich nach Herbst zunächst der Grundsatz ableiten, dass Feldkühlung immer dann sinnvoll ist, wenn die Gruben nicht zu feucht sind und die Teilströme der Wetter sehr unterschiedlichen Verhältnissen unterliegen.

Herbst verweist darauf, dass der Umkehrschluss, dass es umso mehr für eine Füllortkühlung spricht je feuchter die Grube wird, so nicht zu ziehen ist. Die Kühlung der Wetter im Füllort ist zwar relativ weniger aufwändig, die Wetter trocknen dann durch die Erwärmung in Richtung der Betriebspunkte relativ aus – genau dieser Effekt ist in den Berieselungsgruben nicht erwünscht, weil er zur Austrocknung des Kohlenstaubes führt und deshalb wieder eine Berieselung erfordert, die den Sättigungsgrad der Wetter erhöht.

Praktisch werden die Wetter dann nur noch mit dem Sättigungsbestreben an den Betriebspunkten eintreffen, das sie auf Grund der Wärmeerhöhung seit der letzten Berieselung aufgebaut haben.

Einen wichtigen Einfluss bei der Festlegung des Verfahrens haben das Streckennetz und die Wettergeschwindigkeiten. Grundsätzlich gilt nach Herbst, dass die Erwärmung umso stärker ist je geringer die Streckenquerschnitte und die Wettergeschwindigkeiten sind.

Hier ist unterstellt, dass bei geringer werdenden Querschnitten die Wettergeschwindigkeit konstant bleibt und damit die Wettermenge sinkt.

### 6.2.2.2 Kühlung mit Wasser

Die Kühlwirkung vom kaltem Wasser durch die unmittelbare Berieselung und Verdunstung ist bereits angesprochen worden.

Es gab jedoch schon Vorschläge, mit denen die sogenannte Spritzkühlung definiert in Kühlvorrichtungen erfolgen sollte.

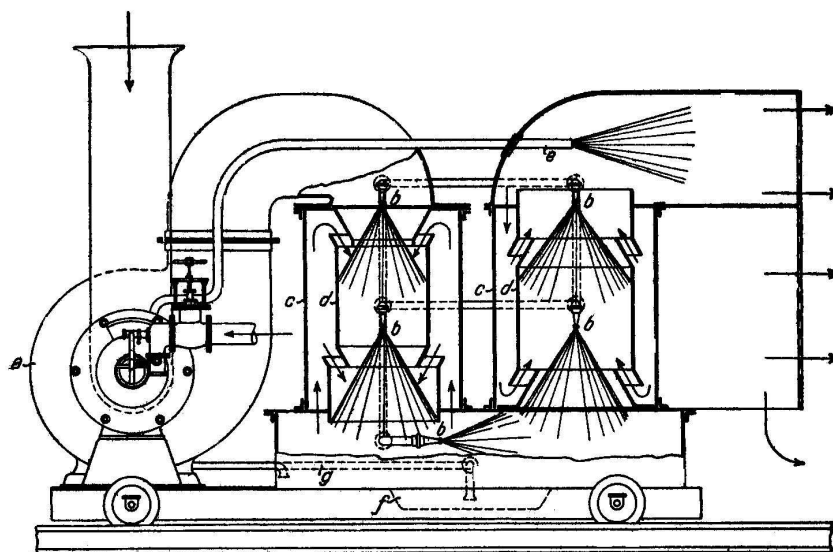


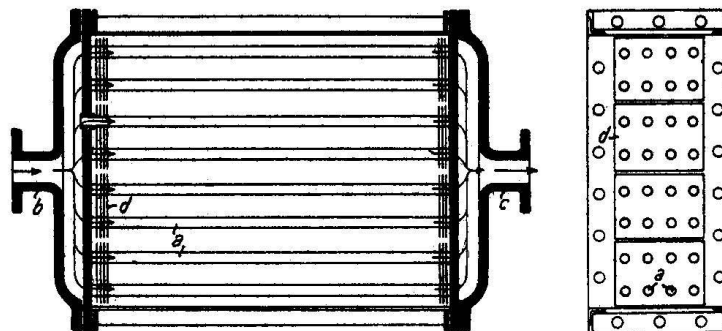
Bild 3, Einspritzkühlvorrichtung von Moll & Co.

Herbst beschreibt einen Vorschlag der Firma Moll & Co. in Neubeckum (**Bild 3**): „Der durch Druckluft oder Druckwasser angetriebene Ventilator **a** treibt den Luftstrom durch die 5 Düsen **b** hindurch, wobei durch die in den Kühlzylinder **c** eingesetzten Glocken **d** ringförmige Spalträume entstehen, durch die ein Teil der bereits gekühlten Luft mit Hilfe der Saugwirkung der Düsen nochmals angesaugt und wieder der Kühlwirkung unterworfen wird. In den austretenden Luftstrom kann noch die Pressluft- oder Wasserstrahldüse **e** eingesetzt werden, welche die Bewegung des Wetterstromes unterstützt und zu seiner weiteren Kühlung beiträgt. Das von den Düsen abfließende Wasser sammelt sich im Bodenbehälter **f** und kann von dort aus von einer auf der Achse des Ventilators sitzenden Kreiselpumpe durch die Leitung **g** wieder angesaugt und für die Streckenberieselung verwendet werden.“  
 Die Anlage ist fahrbar und wird daher für die Feldkühlung eingesetzt. Sie erfüllt Aufgaben der Kühlung und Sonderbewetterung; allerdings führt sie, als systematischer Schwachpunkt des Systems, den Wettern große Wassermengen zu und wird diese weitgehend sättigen. Wenn dann aus dem abgehenden Wetterstrom aus der Düse **e** noch kalte Luft zugeblasen wird, wird es zur Kondensation von Wasser kommen, durch die ein Teil der Kühlung, und der darin investierten Energie, wieder zunichte gemacht wird.

Diese Nachteile, d.h. den direkten Kontakt zwischen Wasser und Wetter, vermeidet die Oberflächenkühlung.

Schon bei der Auffahrung des Simplon-Tunnels (1898 – 1906) wurde gegen die Wetterluten von außen fein zerstäubtes, kaltes Wasser gespritzt und somit die Oberflächenkühlung mit einer einfachen Konstruktion erreicht.

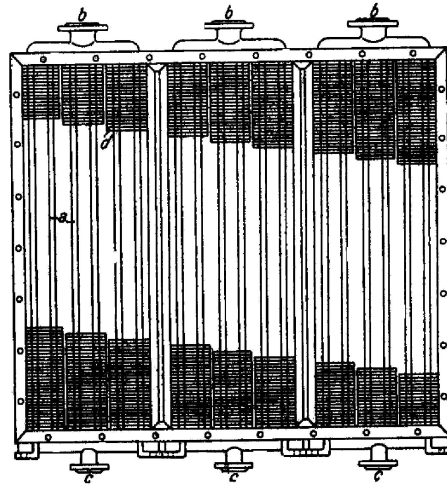
Ein Gesamtsystem für die Kühlung mit kaltem Wasser stellt das von Herbst vorgestellte Verfahren von Arbenz und Junkers dar (7).



**Bild 4, Kühlkörper von Junkers**

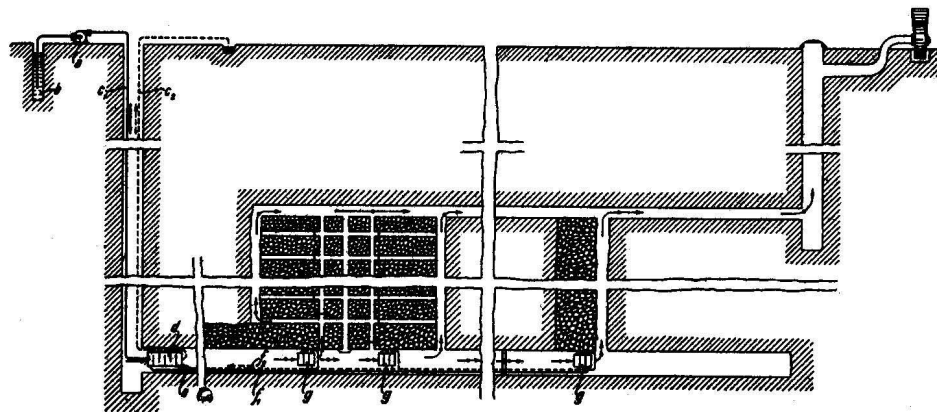
Es arbeitet ebenfalls nach dem System der Oberflächenkühlung. Der Wärmetausch mit den zu kühlenden Wettern erfolgt in geschlossenen Kühlkörpern, die vom Kälte Träger, in diesem Fall Wasser, durchflossen werden (**Bild 4**). Die vom Kälte Träger durchflossenen Rohre sind mit Eisenlamellen ummantelt, um eine möglichst große Kontaktfläche für den Wärmeübergang

von den Wettern in den Kälteträger zu ermöglichen. Die Erhöhung der Kühlwirkung kann durch Hintereinanderschaltung von mehreren Kühlkörpern erreicht werden; die Wetter werden dann im Gegenstrom geführt.



**Bild 5, Gruppe von 3 Kühlkörpern in Parallelschaltung**

Soll eine größere Wettermenge gekühlt werden, können mehrere Kühlkörper parallel geschaltet werden (**Bild 5**).

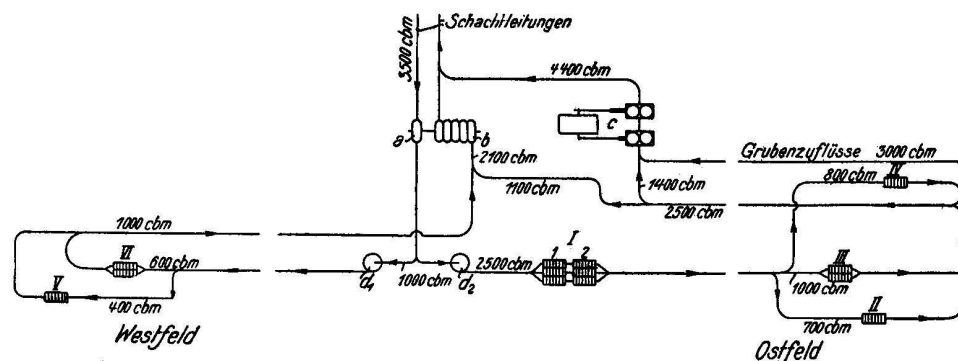


**Bild 6, Schematische Darstellung einer Kühlanlage nach Arbenz-Junkers im Aufriss**

Das Schema der Kühlanlage nach Arbenz-Junkers (**Bild 6**) wird von Herbst (7) wie folgt beschrieben: „...soll...die Umlaufpumpe **a** übertage das Kühlwasser aus dem Brunnen **b** oder einem Wasserlauf ansaugen und durch die Leitung **c**<sub>1</sub> in den Schacht hinunter, sodann durch die Rohre des Kühlkörpers **d** in der Nähe des Füllortes drücken, worauf das Wasser durch die Leitung **c**<sub>2</sub> wieder zutage aufsteigt. Um die Rohre des Füllortkühlers herum fließt das für den Umlauf in der Grube bestimmte Kühlwasser, das durch die Pumpe **e** in Bewegung gehalten wird und durch die Leitungen **f**<sub>1</sub> und **f**<sub>2</sub> läuft. Zwischen beide sind die Kühlkörper **g** geschaltet. Demgemäss ergeben sich 2 getrennte

Kühlwasserströme, nämlich: 1. der Strom des durch die Umlaufpumpe **a** im Schachte bewegten Kühlwassers und 2. der Kreislauf des im Streckennetz untertage durch die zweite Umlaufpumpe **e** in Bewegung gehaltenen Kühlwassers. Beide Ströme sollen sich in dem am Schacht aufgestellten Lamellenkühler **d** kreuzen, so dass das im Streckennetz erwärmte Kühlwasser durch das von der Tagesoberfläche kommende frische Wasser wieder zurückgekühlt wird. Die Zerlegung der Wasserbewegung in 2 Ströme soll eine Entlastung des Streckenrohrnetzes herbeiführen, da dieses von dem im Schachte herrschenden Druck unabhängig wird; es kann daher in entsprechend schwächeren Abmessungen gehalten werden.“

In den waagerechten Kühlwasserstrom (Kälteträgerstrom) können mehrere Kühlkörper eingeschaltet werden (**Bild 7**), parallel, wenn eine größere Wettermenge gekühlt werden soll, oder hintereinander, wenn eine größere Kühlleistung erwünscht ist. Durch die beliebige Anordnung der Kühlkörper ist Füllort- oder Feldkühlung oder beides gleichzeitig möglich.



**Bild 7, Schematische Darstellung einer Kühlanlage nach Arbenz-Junkers im Grundriss**

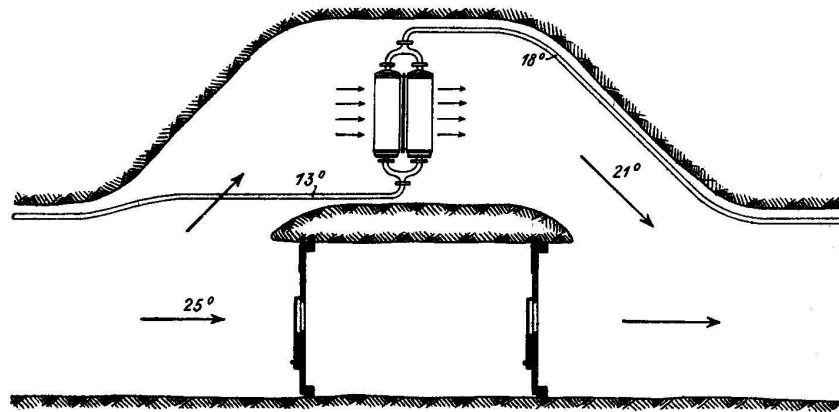
Da es sich bei der Einrichtung um keine Kältemaschine handelt, ist Voraussetzung, dass ausreichend Wasser, das deutlich kühler als die zu kühlenden Wetter sein muss, zur Verfügung steht.

In Frage kommen Fluss- und Bachläufe in der Nähe, tiefe Brunnen und wasserführende Deckgebirgsschichten.

Als Fluss käme die Lippe in Frage mit Durchschnittstemperaturen von rd. 5°C für die kälteren und rd. 14°C für die wärmeren Monate. Hier wird das Dilemma deutlich, dass genau im Sommer, wenn größere Mengen kalten Wassers benötigt werden, ein Fluss nur relativ warmes Wasser in begrenzten Mengen liefern kann.

Hier wäre alternativ Brunnenwasser aus der neutralen Zone mit 9 bis 10°C besser geeignet. Zufließendes Wasser aus dem Deckgebirge muss ebenfalls der Anforderung genügen, dass es kühl ist; genau das ist bei den tiefen, warmen Gruben nicht gegeben, sondern eher in tagesnahen Gruben, bei denen das Problem der hohen Temperaturen in der Regel auch nicht auftritt. In den weiter unten geschilderten Erfahrungen auf der Zeche Radbod wird deutlich, dass die Oberflächenkühlung lediglich mit ungekühltem Wasser nur geringe Kühlerfolge erbringt. Das gilt besonders dann, wenn im Bereich des Schachtes ein Wärmetausch Wasser/ Wasser erfolgt, weil der Wirkungsgrad dann weiter

verringert wird. Damit ist im Sinne einer möglichst hohen Energienutzung nur die direkte Kühlung Wasser/ Wetter folgerichtig.  
 In **Bild 8** ist ein Vorschlag für die Kühlung einer Grundstrecke gemacht. Das Verfahren erfolgt analog zu dem von Rossenbeck und Rath gemachten Vorschlag (3).



**Bild 8, Beispiel für die Anlage einer Kühlanlage im Nebenschluss**

Der Aufsatz von Herbst macht deutlich, dass zu diesem Zeitpunkt die künstliche Wetterkühlung noch nicht ohne weiteres umzusetzen ist.

### 6.2.2.3 Die Pionierleistung auf der Zeche Radbod

Die gleiche Meinung vertritt Andre als Bergwerksdirektor der Zeche Radbod in einem Artikel in der Zeitschrift Glückauf Anfang 1922 (8).

Er schildert erste Ansätze auf der Zeche Radbod während des ersten Weltkrieges, die wegen der Kriegsverhältnisse abgebrochen wurden. Es hatten sich aber auch unabhängig davon schon erhebliche betriebstechnische und wirtschaftliche Bedenken ergeben.

Nachdem auch die Versuche mit der Luftturbine nach Dr. Dietz aus Kostengründen nicht erfolgreich weiter verfolgt werden konnten, vertritt Andre die Meinung, dass zu diesem Zeitpunkt die Abkühlung der Baue auf Radbod nur dadurch erreicht werden kann, dass man die Wetter daran hindert, Wärme aus dem Gebirge aufzunehmen. Damit werden Maßnahmen wie die Isolierung von Luttenleitungen und Streckenstößen angesprochen, die in den tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers damals Erfolg versprechend angewendet wurden. Auf diese Maßnahmen wird unter **Punkt 7.1.2** näher eingegangen.

Winkhaus veröffentlichte 1922 eine Abhandlung über die Bekämpfung hoher Temperaturen in Steinkohlengruben (9)(10)(11), die auf den Erfahrungen der Zeche Radbod in diesen Jahren basieren.

Er greift die Ausführungen von Herbst auf, nach denen theoretisch die Oberflächenkühlung mit (Fluss-) Wasser möglich wäre. Im konkreten Fall der Zeche Radbod wäre jedoch die Vernichtung einer zu großen Wärmemenge erforderlich, um die Austrittstemperatur der Wetter aus den Bauabteilungen unter 28°C zu halten. Das ist mit der natürlichen Temperatur des Flusswassers nicht möglich, weil das Temperaturgefälle zwischen Wasser und Wetter nicht ausreichen würde. Um dieses Ziel zu erreichen, müsste das Wasser über Tage durch Kältemaschinen auf 0°C heruntergekühlt werden. Bei Aufstellung der Kältemaschinen unter Tage, wie von Rossenbeck und Rath (3) vorgeschlagen, ergäben sich erhöhte Isolationskosten wegen des Verbleibs des erwärmten Kühlwassers unter Tage. Außerdem verböte die Möglichkeit des Säureaustritts (schweflige Säure) und die Gefährdung der Belegschaft dadurch diese Alternative.

Winkhaus (10) errechnet, dass die jährlichen Energiekosten für das Herabkühlen des Wassers bei künstlicher Kühlung und für die Pumpen bei annähernd 10 Mio. Mark liegen würden; damit wäre eine wirtschaftliche Anwendung der mittelbaren Wasserkühlung ausgeschlossen, zumal dazu noch die Unterhaltskosten für die Rohrleitungen und die Kapitalkosten kämen.

Im Sommer 1920 stieg die Zahl der Kurzschichter auf Grund hoher Temperaturen auf mehr als 60% an. Es wurden wettertechnische Maßnahmen ergriffen, vor allem die Verdoppelung der Wettermenge, die bis zum Sommer 1922 dazu führten, dass nur noch 25% der Arbeiter unter Tage in Kurzschichten arbeiteten. Die weitere Verbesserung der Klimaverhältnisse war mit den gegebenen Mitteln nicht möglich, so dass man sich entschloss, einen weiteren Schacht abzuteufen mit 7 m Durchmesser.

Da diese Maßnahme aber erst Jahre später greifen würde, war man gezwungen, zwischenzeitlich andere Schritte zu gehen, wenn man das Ziel erreichen wollte, Kurzschichten ganz zu vermeiden.

Neben der auf Radbod bereits eingeführten Lutten- und Streckenisolierung gehörte dazu auch die künstliche Kühlung des Wetterstromes, siehe auch Stapff (12).

Bekannt nach Herbst waren die Spritzkühlung und die Oberflächenkühlung mit Wasser.

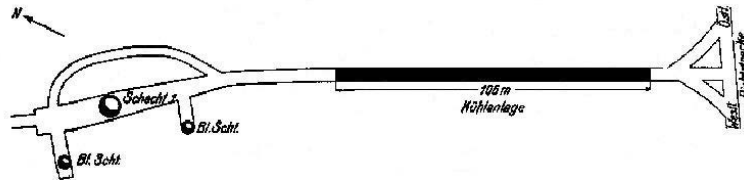
Stapff (12) berichtet, dass beide Verfahren auf Radbod angewendet wurden.

Da die gesamten Frischwetter auf Radbod durch einen Schacht einzogen, wurde dort eine Anlage zur Spritzkühlung installiert. Zwischen Hängebank und Rasenhängebank wurde eine Düsenanlage angebracht, durch die die Frischwetter strömten. Stapff: „Auf jeder Seite des Schachtes befinden sich 40 etwa 5 1/2 m lange Rohre von 50 mm lichter Weite. Jedes Rohr ist mit 10 Düsen versehen, so dass im ganzen 800 Düsen mit einer Leistung von je 3 l/min vorhanden sind, die durchströmende Gesamtmenge also 2,4 cbm/min (m<sup>3</sup>/min) beträgt.“

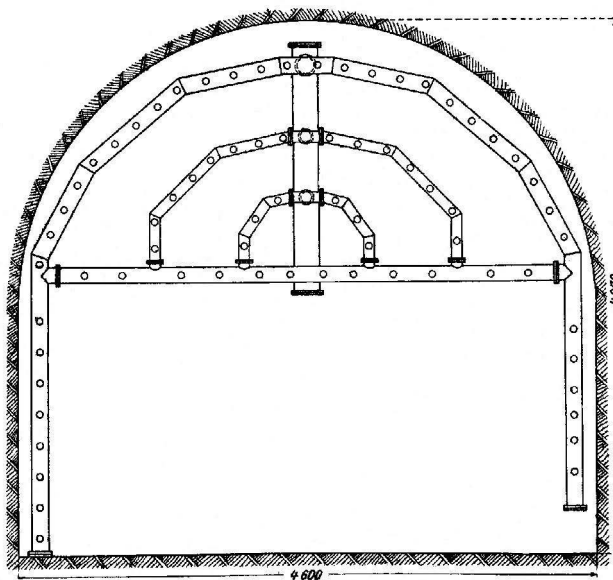
Die Anlage zur Oberflächenkühlung wurde im Hauptquerschlag der IV. Sohle, der 968m-Sohle, installiert, durch dessen Querschnitt von 20m<sup>2</sup> eine Wettermenge von 7.200 m<sup>3</sup>/min zog (Bilder 9 und 10). Die Anlage bestand



aus einer Gruppe von zwei-, drei- und fünfzölligen Längsrohren mit insgesamt 7.700 m Länge und 1.800 m<sup>2</sup> Oberfläche.



**Bild 9, Anordnung der Kühlanlage auf der 968m-Sohle**



**Bild 10, Ansicht des Kühlrohrnetzes am Netzanfang**

Zunächst wurden beide Anlagen mit Flusswasser aus der Lippe betrieben, 1922 und 1923 die Spritzwasserkühlung über Tage mit Lippewasser und 1923 die Oberflächenkühlung mit Leitungswasser.

Der Erfolg war anfangs gering; die Temperatursenkung im Hauptquerschlag der IV. Sohle betrug im Durchschnitt etwa  $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ , höchstens  $1^{\circ}\text{C}$ . Die Ursache lag in dem zu warmen Leitungswasser, das über Tage in heißen Monaten  $16^{\circ}\text{C}$  aufwies, vor der Kühlanlage auf der IV. Sohle  $19^{\circ}\text{C}$  und dahinter  $20,5^{\circ}\text{C}$ . Die Temperatur des für die Spritzkühlung verwendeten Flusswassers stieg sogar bis auf  $20^{\circ}\text{C}$ .

Im Jahr 1924 begann man deshalb, das Wasser mit einer Ammoniakanlage zu kühlen. Weltweit war vorher nur in der fast 2.000 m tiefen Grube im brasilianischen Goldbergwerk Morro Velho, mit allerdings geringeren Wettermengen, eine solche Kühlanlage eingesetzt worden. Die Kühlung erfolgte dort über Tage in einem Wetterkanal. Das wäre auf Radbod nicht möglich gewesen, weil, wie bereits erwähnt, die gesamte Wettermenge von  $20.000 \text{ m}^3/\text{min}$  durch einen Schacht einzog. Deshalb hätte man bei der Kühlung

dieser Gesamtwettermenge entweder eine sehr große Anlage benötigt oder nur eine geringe Kühlwirkung erzielen können.

Da die Maßnahmen für einen Übergangszeitraum gedacht waren und man insgesamt mit geringen Mitteln auskommen musste, wurde, wie Stapff (12) berichtet, ein gebrauchter Ammoniakkompressor mit Zubehör aus einer stillgelegten Brauerei mit elektrischem 200 PS-Antrieb (ca. 149,2 kW) für eine Leistung von etwa 500.000 kcal/h angeschafft. Das Zubehör bestand aus einem Verdampferkasten mit Verdampferschlangen und einem Berieselungskondensator (Bild 11). Der Zwillingskompressor hatte bei 530 mm Hub einen Zylinderdurchmesser von 335 mm. Die Ammoniakfüllung betrug 1.700 kg. Der Kondensator bestand aus 720 m zweizölligen Rohren. Unter dem Kondensator stand in einem ehemaligen Schlammklärbehälter der eiserne Verdampferkasten mit 3.400 m Kühlschlangen von 32 mm lichter Weite.

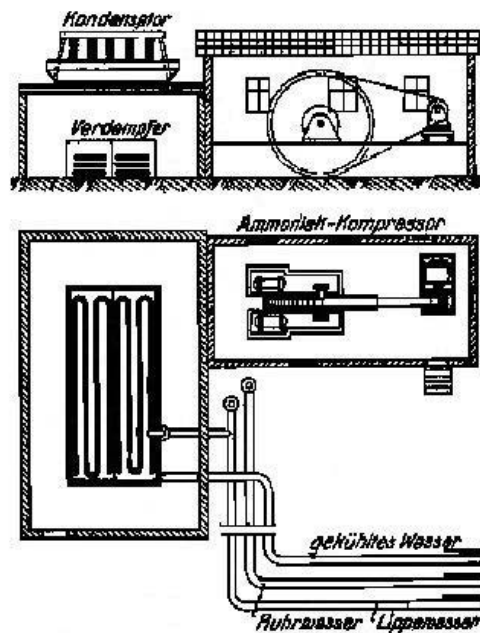


Bild 11, Ammoniak-Kühlanlage über Tage

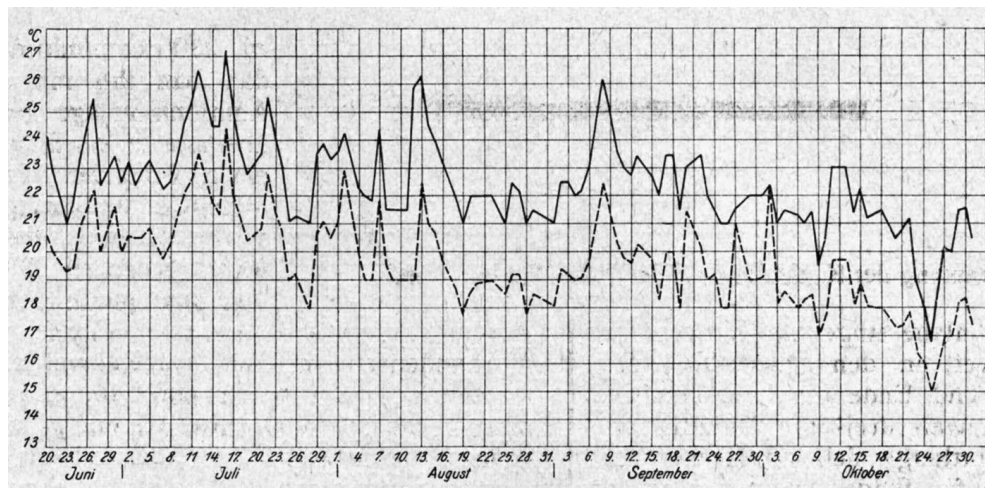
Das Ammoniak wurde nach dem Linde-Verfahren auf etwa 10 at (ca. 1 MPa) verdichtet, wodurch es sich auf rd. 35°C erwärmte, und dann durch das Rohrnetz des Kondensators geleitet. Das Lippwasser berieselte ständig die Kondensatorschlangen und kühlte dadurch das Ammoniak auf etwa 20°C ab. Das Ammoniak strömte dann in die Reduzieranlage, wo es auf Grund des geringeren Druckes expandierte und sich auf etwa -4 bis -5°C abkühlte, und durchströmte danach das von dem zu kühlenden Wasser umspülte Rohrnetz im Verdampferkasten. Das Wasser wurde dabei auf etwa 1°C abgekühlt. Eine stärkere Abkühlung war nicht sinnvoll, weil sich dann um die Kühlschlangen des Verdampferkastens Eis gebildet hätte, das den Wärmeübergang vom Wasser in das Ammoniak behindert hätte.

Da die Kapazität der Kälteanlage begrenzt war, wurde nach Stapff nur die Oberflächenkühlanlage mit gekühltem Wasser beschickt, nicht die Spritzkühlanlage über Tage.

Auf dem Weg auf die IV. Sohle erwärmte sich das Wasser um 3 bis 4°C, obwohl die 80 mm-Leitung im Schacht isoliert war und die Zeit nur etwa 1 ½ min betrug. Es kühlte dort mit einer Wassermenge von 630 l/min die Wettermenge von 7.200 m<sup>3</sup>/min um im Mittel 3°C von 22 bis 23°C auf 19 bis 20°C ab.

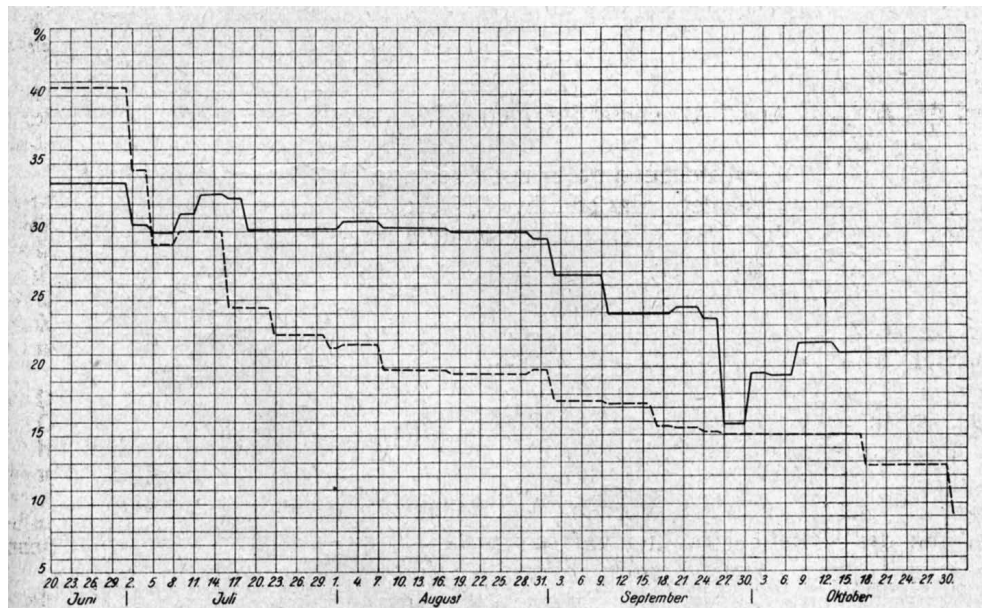
Das Wasser erwärmte sich dabei um etwa 11°C auf 15 bis 16°C. Es wurde dann in den Pumpensumpf geleitet und mit dem übrigen Grubenwasser gehoben; ein Wasserkreislauf fand bei Verwendung von Süßwasser nicht statt.

Die Anlage lief erfolgreich. Aus **Bild 12** sind die Kühlerfolge über die Zeitachse ab Mitte Juni 1924 erkennbar. Am 27. September und 3. Oktober stand die Anlage zeitweise still. Entsprechend sind die Temperaturen vor und hinter der Kühlanlage in etwa identisch.



**Bild 12, Wärmegrade vor und hinter dem Kühlrohrnetz auf der IV. Sohle (968 m)**

Ursprüngliches Ziel der Zeche Radbod war es, auch durch die künstliche Wetterkühlung, die Zahl der Kurzschichter zu reduzieren, wenn möglich klimabedingte Kurzschichten ganz zu vermeiden. Eine Aussage dazu lässt sich aus **Bild 13** treffen. Hier ist ebenfalls der Zeitraum vom 20. Juni 1924, dem Beginn der Klimatisierung, bis 1. November 1924 dargestellt. Die Messwerte aus dem von der Klimatisierung nicht betroffenen Bereich der Grube sind als durchgehende Linie, die Werte aus dem klimatisierten Teil als gestrichelte Linie aufgetragen.



**Bild 13, Entwicklung der Kurzschichter-Zahl nach Inbetriebsetzung der Ammoniak-Kühlanlage (die Werte aus dem nicht klimatisierten Bereich bilden die durchgehende Linie; der klimatisierte Bereich wird durch die gestrichelte Linie dargestellt)**

In der Zeit von Juni bis November überlagern sich zwei Einflüsse:

- Der jahreszeitlich bedingte Rückgang der Temperaturen
- Der Temperaturrückgang durch die Klimatisierung

Der Rückgang der Kurzschichter von 33,5% auf 21% (durchgehende Linie) in dem nicht klimatisierten Bereich geht auf den Einfluss der jahreszeitlichen Temperaturrückgangs zurück. Dieser Bereich wurde nicht für die Klimatisierung ausgewählt, weil hier der Anteil der Kurzschichter auch ohne Klimatisierung nicht so hoch war. In dem Bereich, der für die Klimatisierung ausgewählt wurde, war der Handlungsbedarf, 40,6% Kurzschichter im Juni 1924, höher. Hier verringerte sich der Anteil bis Anfang November auf 9,1%. Beide Einflüsse waren dabei wirksam, die Klimatisierung und der natürliche Temperaturrückgang.

Durch die weitgehende Vermeidung von Kurzschichten ergibt sich nach Stapff eine rechnerische Mehrförderung von 45,8 t je Tag.

Dem stehen Betriebskosten für die Klimatisierung gegenüber, die dem Wert von 29,2 t entsprechen. Nach unserer heutigen Terminologie würden wir daraus einen Deckungsbeitrag von jährlich 37.500 Mark errechnen. Die Anlagekosten in Höhe von 70.000 Mark würden sich dann überschlägig mit etwa 50 % je Jahr verzinsen oder in etwa zwei Jahren amortisieren.

In die Kostenrechnung wurde von Stapff nur der Effekt eingerechnet, der sich aus der längeren Arbeitszeit vor Ort ergibt. Tatsächlich führt ein Rückgang der Temperaturen zu einer Leistungssteigerung an sich.

Wie Eichholtz später berichtet (**13**), wurde im Jahr 1925 als Kälte­träger eine Kochsalzsole statt des Süßwassers verwendet. Sie wurde auf  $-3$  bis  $-4^{\circ}\text{C}$

gekühlt und trat unter Tage mit einer Temperatur von 0 bis  $-1^{\circ}\text{C}$  in die Oberflächenkühlanlage ein, die sie mit  $+10$  bis  $+12^{\circ}\text{C}$  verließ. Der Erfolg war jedoch nicht besser als bei der Verwendung von Süßwasser.

Gleichzeitig wurde das System auf einen geschlossenen Kreislauf für den Kälte­träger umgestellt, so dass es fast keine Wasserverluste mehr gab, und man sparte dadurch etwa 20% der Kosten. Ursprünglich war eine Erweiterung der Anlage geplant, die jedoch wegen der wirtschaftlichen Schwierigkeiten nicht realisiert werden konnte.

In Folge eines Grubenbrandes im Jahr 1926 wurde die 4. Sohle, auf der die Anlage installiert war, außer Betrieb genommen.

Kohl (14) berichtet 1934: „Die Kältemaschine fand dann nur noch in der warmen Jahreszeit Verwendung zur Kühlung von Wasser, mit dem der einziehende Wetterstrom auf Schacht I berieselt und gekühlt wurde. Der Erfolg war jedoch nicht bedeutend;...Auf die Temperatur in den Bauen dürfte dieser geringe Kühlbetrag keinen Einfluss gehabt haben, weil die Wetter auf dem Wege dahin reichlich Gelegenheit zur Aufnahme von Wärme und Feuchtigkeit hatten. Ob sie zur allmählichen Bildung eines Kühlmantels um die Wetterführungswege herum ausreichte, der mit der Zeit einen fühlbaren günstigen Einfluss auf die gruben­klimatischen Verhältnisse in den Abbauen ausüben könnte, erscheint zweifelhaft. Der einzige Vorteil der Anlage, die heute noch im Betriebe ist, dürfte darin liegen, dass die Erwärmung des Schachtes und des anschließenden Querschlagstückes während der warmen Jahreszeit zurückgehalten wird.“

#### 6.2.2.4 Die Entwicklung bis zum 2. Weltkrieg

Einen weiteren Einsatz von Eis- und Kältemaschinen zur Wetterkühlung gab es in Deutschland bis nach dem zweiten Weltkrieg nicht mehr.

Das lag einmal daran, dass die Absatzmöglichkeiten im deutschen Steinkohlenbergbau ohnehin zunächst schwierig waren, andererseits wurden alle wetter­technischen Möglichkeiten ausgeschöpft, mit denen die klimatischen Verhältnisse in den Gruben erträglich gehalten werden konnten, anders als in manchen Erzbergbauregionen der Welt, wo Teufen bis weit über 2.000 m den Einsatz der Klimatisierung überlebenswichtig werden ließen.

Dennoch wurde das Thema bis zum 2. Weltkrieg auch in Deutschland weiter untersucht, weil klar war, dass bei der fortschreitenden Teufe im Ruhrbergbau die Klimatisierung notwendig werden würde.

Fritzsche (15)(16)(17) fasst den 1940 erreichten Stand zusammen. Danach steht im Mittelpunkt der Bemühungen die Erkenntnis, dass nicht allein die gesetzlich betrachtete Trockentemperatur als Maßstab dienen kann, sondern dass auch die Feuchttemperatur und die Wettergeschwindigkeit die Arbeitsbedingungen beeinflussen.

Nach Fritzsche darf sich zukünftig die Klimatisierung nicht auf das Bemühen beschränken, die gesetzlich vorgegebene Grenztemperatur von  $28^{\circ}\text{C}$  zu

unterschreiten, sondern muss solche Bedingungen schaffen, unter denen der Bergmann seine volle Leistung erbringen kann.

Die Definition der Klimazustände und die Messmethoden dazu waren bis zum 2. Weltkrieg ebenfalls entwickelt worden.

Fritzsche geht auch auf die Frage des Standortes der Kühleinrichtungen ein. Eine Zentralkühlung mit der Kälteerzeugung und der Wetterkühlung über Tage wird zur damaligen Zeit wegen der Wetter- und Kälteverluste und dem daraus resultierenden geringen Wirkungsgrad von 20 – 25% noch als nicht sinnvoll angesehen. Fritzsche sieht allerdings damals schon Perspektiven für ein solches System, wenn es in die Planung eines Bergwerks bereits einfließt, vor allem durch grenzläufige Bewetterung und weitgehende Vermeidung von Wetterverlusten.

Bessere Wirkungsgrade von über 50% lassen sich bei der Erzeugung der Kälte über Tage und der Übertragung der Kälte in die Grube mit einem Kälte Träger erzielen – das gleiche Prinzip wurde bereits auf Radbod angewendet. Als Kälte Träger kamen nach Fritzsche Wasser oder Sole, wie auf Radbod, oder nach einem Patent der Rheinmetall-Borsig AG feste Stoffe, wie z. B. CO<sub>2</sub> oder Eis, in Frage. Dieses System der Kälteübertragung hat die Vorzüge, dass Flüssigkeiten und feste Stoffe im Schacht keine nennenswerte Selbstverdichtung erfahren und bei der Wahl des geeigneten Kälte Trägers eine Abkühlung über Tage unter 0°C erfolgen kann, wodurch die Menge an umlaufendem Kälte Träger gering zu halten ist. Ein weiterer Vorzug liegt darin, dass durch die zweckmäßige Aufstellung der Luftkühler unter Tage nur die Teilwetterströme gekühlt werden, für die es sinnvoll ist. Nachteilig wirken sich jedoch die hohen Isolationskosten für die Rohrleitungen aus.

Die Alternative mit der Nutzung der Druckluft als Kälte Träger sieht Fritzsche sehr kritisch, weil Luft ein schlechter Kälte Träger ist und im Schacht eine zusätzliche Erwärmung auf Grund der Selbstverdichtung erfährt. Es kann zwar das vorhandene Druckluftnetz genutzt werden; es ist aber ebenfalls aufwändig zu isolieren.

Große Leitungs- und energiewirtschaftliche Verluste sind zu erwarten. Da nach Fritzsche die Entfernung der Isolierung von den Druckluftleitungen an den zu kühlenden Stellen keine ausreichende Kühlfläche ergeben würde, wäre ein großer Aufwand für die Aufstellung vieler Wärmetauscher erforderlich.

Im Jahr 1940 schien die Aufstellung einer Kälteerzeugungsanlage unter Tage zur Kühlung eines Teilwetterstromes naheliegend, auch weil die Installation einer Großanlage über Tage ein erheblich größerer Aufwand gewesen wäre. Für dieses System waren nach Fritzsche Wirkungsgrade von über 70% zu erwarten.

Zwei Voraussetzungen mussten für den erfolgreichen Einsatz von Kompressionskältemaschinen unter Tage gegeben sein. Die Maschine muss mit ausreichend Kühlwasser, sowohl Menge als auch Temperatur, versorgt werden können, und es muss ein für den Untertageeinsatz geeignetes Kältemittel zur Verfügung stehen.

Als geeignetes Kältemittel sah Fritzsche Frigen an, das in den USA bereits unter der Bezeichnung Freon 12 als Kältemittel genutzt wurde.

Freon 12 oder Frigen ist die Bezeichnung für Difluorchlormethan  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ . Es hat befriedigende thermische Eigenschaften und war den klassischen Kältemitteln sicherheitlich überlegen, weil es unbrennbar, praktisch ungiftig ist und sich unter normalen Temperaturen chemisch nicht zersetzt. (Anm.: Erst viel später erkannte man, dass diese Resistenz die lange Verweildauer in der Atmosphäre verursacht mit den bekannten negativen Folgen.)

Frigen greift Metalle nicht an, so lange es wasserfrei ist. Darauf ist im Betrieb zu achten.

Als Kältemaschinen schlägt Fritzsche die Nutzung der in der Kältetechnik üblichen Kompressormaschinen vor, wie bereits auf Radbod geschehen, oder für über Tage als Alternative die Dampfstrahlkältemaschine, wenn auf einem Bergwerk genügend Dampf anfällt.

Bei der Frage der Wahl zwischen Kolben- und Kreiselverdichtern favorisiert Fritzsche, ab einer Kälteleistung von 200.000 kcal/h aufwärts, wegen des geringeren Platzbedarfs, der besseren Regelbarkeit und der Trennung der möglicherweise wasserhaltigen Schmiermittel von den wasserempfindlichen Freonen, den Einsatz von Kreiselkompressoren.

Er erwähnt die Klimaanlage „Frigibloc“ von Brown Boveri & Cie., die zu diesem Zeitpunkt bereits in Südafrika im Einsatz ist.

Sie ist auf Grund ihrer geschlossenen Bauart, ihrem geringen Raumbedarf und Gewicht und ihrer guten Transportierbarkeit als Untertageanlage geeignet. Sie wird im Jahr 1949 in der Steinkohlengrube Zwartberg in Belgien eingesetzt - nach Radbod der zweite Einsatz einer Klimaanlage zur Wetterkühlung im europäischen Bergbau.

### **6.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

*Die Zeit vor und nach dem ersten Weltkrieg, besonders die 1920er Jahre, war geprägt durch die Vertiefung der Erkenntnisse zur Beherrschung des Grubenklimas.*

*In der ersten wissenschaftlichen Beschäftigung mit dem Thema und durch die betrieblichen Messungen und Untersuchungen, vor allem auf den tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers, wurden deutliche Beiträge zum Verständnis der Problematik und Lösungsansätze erarbeitet.*

*Die Beherrschung des Grubenklimas war für diese Gruben von existentieller Bedeutung.*

*In erster Linie wurden wettertechnische Maßnahmen, deren Entwicklung ebenfalls zu einem beträchtlichen Teil auf diesen Bergwerken erfolgte, ergriffen, die in den meisten Fällen erträgliche Arbeitsbedingungen schaffen konnten.*

*Für Fälle, in denen dies nicht erreicht werden konnte, wurden schon früh Maßnahmen zur Klimatisierung in Erwägung gezogen.*

*Dabei bestand von Anfang an die Aufgabenstellung, den Wettern, mit einem vertretbaren Energieaufwand, ausreichend Wärme zu entziehen und dafür die geeigneten Verfahren und maschinellen Einrichtungen zu entwickeln.*

*Herausragend ist hier die Pionierleistung auf der Zeche Radbod mit der Entwicklung und dem Einsatz einer Kühlanlage, der zweiten auf einem Bergwerk weltweit.*

*Dabei wurde der ursprüngliche Gedanke, natürliches Flusswasser für die Kühlung zu nutzen, wegen des zu geringen Temperaturgefälles zwischen den zu kühlenden Wettern und dem Flusswasser aufgegeben. Daraus resultierte der Einsatz eines Kühlkompressors.*

*Die Anlage, ursprünglich als Brückentechnologie bis zum Wirksamwerden zusätzlicher wettertechnischer Maßnahmen gedacht, lief erfolgreich über mehrere Jahre und bildete die Grundlage der bis heute angewendeten Wetterkühlung.*

*Das gilt sowohl für die Erzeugung der Kälte als auch für den Einsatz von Wärmetauschern, der die Trennung des Kälte-trägers und der Wetter ermöglichte und dadurch die Wetter nicht mit zusätzlicher Feuchtigkeit belastete. Ein direkter Kontakt zwischen den Wettern und zusätzlichem Wasser hätte den Kühlerfolg durch steigende Nasswärmegrade wieder zunichte gemacht.*

*Andere Verfahren zur Wetterkühlung waren im Ruhrbergbau nicht erfolgreich. Das gilt insbesondere für das Spritzkühlverfahren, bei dem die Wetter mit zusätzlichen Wassermengen belastet wurden.*

*Bis zum zweiten Weltkrieg wurde in Deutschland keine weiteren Anlage zur Wetterkühlung mehr eingesetzt, insbesondere weil auch in dieser Zeit durch wettertechnische Maßnahmen in den Bergwerken erträgliche Arbeitsbedingungen geschaffen werden konnten.*

*Wurden vor dem ersten Weltkrieg im wesentlichen Vorschläge zur Bekämpfung der Wärmewirkungen gemacht, wurden in den 1920er Jahren, besonders auf den Bergwerken Radbod und Sachsen, auf der Basis systematischer Messungen und Untersuchungen Klimastrategien entwickelt. Grundsätzlich wurde Abbau mit möglichst dichtem Versatz betrieben, der bei dem damaligen Stand der Ausbautechnik den Abbau in diesen Teufen erst ermöglichte.*

*Klimatechnisch verhinderte der Versatz einerseits den direkten Wärmeübergang in die Wetter aus dem Alten Mann, andererseits wurde dadurch die Oxidation von Feinkohle, aus Abbauverlusten, mit den entsprechenden Wärmeentwicklungen verhindert.*

*Ein weiteres wichtiges Element für die Klimastrategien war die Vergrößerung der Grubenweiten unter anderem durch das Abteufen von Wetterschächten, Begrenzung der Ausdehnung der Grubengebäude auf das unumgängliche Maß und die Gestaltung der Grubenräume so, dass eine nach Menge und Temperatur ausreichende Versorgung mit Frischwettern gewährleistet war.*



*Wegen der Erfolge auf diesem Gebiet wurden trotz der weiter fortschreitenden Teufen im Ruhrrevier zunächst keine weiteren Kühlanlagen eingesetzt.*

*Wegen des Teufenfortschritts war es aber klar, dass die Klimatechnik im Ruhrbergbau wieder erforderlich würde. Die Entwicklung wurde daher weiter betrieben und hatte bis Ende der 1930er Jahre einen Stand erreicht, auf dem die Einführung der Klimatechnik nach dem Krieg basierte.*

### **Literatur:**

- (1) Tübben: Vorschläge zur Abkühlung warmer Betriebspunkte in Grubenbauen, Glückauf 1899, S. 577 - 581
- (2) Besprechung des Rekurses vom 21. Juni 1909 gegen den Beschluss des Oberbergamtes vom 19. Mai 1909 betr. den Betriebsplan der Zeche Werne, DBM/montan.dok/Bergbau-Archiv Bochum 57/43
- (3) Rossenbeck und Rath: Über künstliche Kühlung von Grubenwettern, Glückauf 1911, S. 267 - 273
- (4) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 112
- (5) Herbst, F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 409 - 417
- (6) Herbst, F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 429 - 436
- (7) Herbst, F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 449 - 457
- (8) Andre, W.: Betriebserschwerisse in tiefen Gruben, Glückauf 1922, S. 97 - 102
- (9) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 613 - 616
- (10) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 645 - 653
- (11) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 677 - 683
- (12) Stapff, M.: Versuche mit künstlicher Grubenkühlung auf der Zeche Radbod, Glückauf 1925, S. 661 - 665

(13) Niederschrift über die 13. Sitzung des Ausschusses für Wettertechnik am 15. Januar 1952 auf der Zeche Radbod, DBM/montan.dok/Bergbau-Archiv Bochum 16/1329

(14) Kohl,E.: Eis- und Kältemaschinen im Dienste des Bergbaus, Zeitschrift für die gesamte Kälteindustrie 1934, S. 42 – 45

(15) Fritzsche,H.: Heutiger Stand und Zukunftsmöglichkeiten der Wetterkühlung in heißen Gruben, Glückauf 1940, S. 149 – 157

(16) Fritzsche,H.: Heutiger Stand und Zukunftsmöglichkeiten der Wetterkühlung in heißen Gruben, Glückauf 1940, S. 167 – 174

(17) Fritzsche,H.: Heutiger Stand und Zukunftsmöglichkeiten der Wetterkühlung in heißen Gruben, Glückauf 1940, S. 181 - 189

#### **Bilder:**

**Bild 1** Anordnung einer Kompressionskälteanlage; Rossenbeck und Rath: Über künstliche Kühlung von Grubenwettern, Glückauf 1911, S. 269

**Bild 2** Lage und Bewetterung des Kühlraums; Rossenbeck und Rath: Über künstliche Kühlung von Grubenwettern, Glückauf 1911, S. 270

**Bild 3** Einspritzkühlvorrichtung von Moll & Co.; Herbst: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 436

**Bild 4** Kühlkörper von Junkers; Herbst: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 449

**Bild 5** Gruppe von 3 Kühlkörpern in Parallelschaltung; Herbst: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 449

**Bild 6** Schematische Darstellung einer Kühlanlage nach Arbenz-Junkers im Aufriss; Herbst: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 450

**Bild 7** Schematische Darstellung einer Kühlanlage nach Arbenz-Junkers im Grundriss; Herbst: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 450

**Bild 8** Beispiel für die Anlage einer Kühlanlage im Nebenschluss; Herbst: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 454

**Bild 9** Anordnung der Kühlanlage auf der 968m-Sohle; Stapff,M.: Versuche mit künstlicher Grubenkühlung auf der Zeche Radbod, Glückauf 1925, S.662

**Bild 10** Ansicht des Kühlrohrnetzes am Netzanfang; Stapff,M.: Versuche mit künstlicher Grubenkühlung auf der Zeche Radbod, Glückauf 1925, S.662

**Bild 11** Ammoniak-Kühlanlage über Tage; Stapff,M.: Versuche mit künstlicher Grubenkühlung auf der Zeche Radbod, Glückauf 1925, S.662

**Bild 12** Wärmegrade vor und hinter dem Kühlrohrnetz auf der IV. Sohle (968 m); Stapff,M.: Versuche mit künstlicher Grubenkühlung auf der Zeche Radbod, Glückauf 1925, S.663

**Bild 13** Entwicklung der Kurzschichter-Zahl nach Inbetriebsetzung der Ammoniak-Kühlanlage; Stapff,M.: Versuche mit künstlicher Grubenkühlung auf der Zeche Radbod, Glückauf 1925, S.663

## 7. Maßnahmen zur Beherrschung des Grubenklimas

### 7.1 Maßnahmen ohne Klimatisierung

#### 7.1.1 Wettertechnische Maßnahmen

##### 7.1.1.1 Erhöhung der Wettermengen

Es wurde schon früh erkannt, dass der Wetterstrom mit dem Gebirge als Wärmeausgleicher das wirksamste Mittel zur Klimabeherrschung ist.

Herbst *(1)* weist 1920 darauf hin, dass im Ruhrrevier der Temperaturunterschied im Ausziehstrom zwischen Sommer und Winter lediglich 1,5 bis 2°C beträgt. Das Gebirge ist in der Lage, die im Einziehstrom zu kühleren Zeiten enthaltenen Kältemengen auszunutzen und für wärmere Zeiten zur Verfügung zu halten.

Herbst schlägt daher vor, die Kühlstärke des Wetterstroms in kühleren Zeiten gezielt zu nutzen.

Die erste und naheliegendste Maßnahme wäre die Verstärkung des Wetterstromes z.B. im Winter oder nachts. Bedenken dagegen waren der höhere Kraftaufwand und, wie bereits früher beschrieben, die Überschreitung der bergpolizeilich zugelassenen maximalen Wettergeschwindigkeit. Die hohe Wettergeschwindigkeit würde allerdings zum großen Teil auf die Nachtstunden entfallen oder in Ausrichtungsbetrieben einer neuen Sohle, in denen die Auswirkungen nicht so gravierend wären.

Das Risiko des Durchblasens der Körbe der Benzinsicherheitslampen bei höheren Wettergeschwindigkeiten, das unter anderem zur Festlegung der Geschwindigkeitsgrenze geführt hatte, spielte nach der schrittweisen Einführung des elektrischen Geleuchts um diese Zeit immer weniger eine Rolle *(1)*.

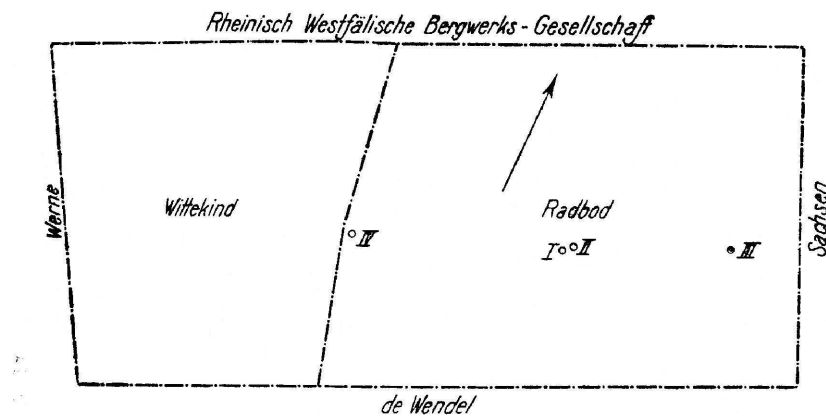
Die Kühlung durch den Wetterstrom war besonders für die Gruben wichtig, die bereits im Füllort Temperaturen im Bereich der Grenztemperaturen aufwiesen. Durch Auskühlung der Stöße bildete sich ein Kältemantel, auf dessen Nutzung unter **Punkt 7.1.2.1** noch eingegangen wird.

Auf der Zeche Radbod wurden besondere Anstrengungen unternommen, um für die Klimabeherrschung möglichst große Wettermengen zur Verfügung zu stellen. Andre schreibt 1922 dazu in seinem Artikel „Betriebserschwerisse in tiefen Gruben“ *(2)*: „Für die Bekämpfung der Wärme im Abbau selbst gibt es bis heute, wie schon gesagt, nur ein Mittel, und das ist, große Wettermengen hindurchzujagen. Dies muss nicht nur während der heißen Jahreszeit geschehen, sondern vor allen Dingen auch im Winter. Die kalte Luft schafft dann im Gestein einen Kühlmantel um die Schächte, Querschläge usw., von dem die Wetterwirtschaft dann noch bis weit in den Sommer hinein Nutzen

zieht. Die Möglichkeit, viele Wetter durch die Grube zu führen, wird eingeschränkt durch die bergpolizeiliche Bestimmung; § 128 der Dortmunder Polizeiverordnung sagt mittelbar, dass eine Wettergeschwindigkeit von 6 m/sec im Einziehstrom nicht überschritten werden dürfe. Die Herstellung großer Querschnitte findet aber ihre Grenze in dem Verhalten des Gebirges, das allzu große Räume auszuschließen verbietet. Auch hier werden die besonderen Verhältnisse der einzelnen Zechen ausschlaggebend sein. Der Hauptquerschlag der 4. Sohle hat auf der Zeche Radbod am Füllort einen Querschnitt von 70 m<sup>2</sup>, der sich auf eine Länge von 40 m bis zur Richtstrecke gleichmäßig bis auf 20 m<sup>2</sup> verringert. Die Richtstrecken sind mit 13 m<sup>2</sup> aufgefahren. Hier ist das Äußerste, was möglich ist, geschehen. Es darf erwartet werden, dass die Bergbehörde den Betriebsschwierigkeiten der tiefen Gruben Rechnung tragen und eine größere Wettergeschwindigkeit in einzelnen Fällen zulassen wird....Die gewaltigen Wettermengen, die aus der Grube gesaugt werden, erfordern aber auch gewaltige Kräfte. Auf Radbod werden zurzeit 20.000 m<sup>3</sup> Wetter durch die Grube geführt, die einen Kraftaufwand von täglich 32.000 KWst erfordern. Da 1 KWst heute mit 1 M zu berechnen ist, handelt es sich also um 11 Mill. M im Jahr. Mit der selbstverständlich möglichen Herabsetzung dieser Zahl sind wir durch planmäßige Schaffung einer größeren Grubenweite beschäftigt, allerdings erfordert das wieder die Aufwendung ganz erheblicher Kosten. Lediglich der Wetterführung wegen müssen also mehr Gesteinsbetriebe als unter normalen Betriebsverhältnissen aufgefahren und unterhalten werden. Gegebenfalls kommt auch das Abteufen eines neuen Schachtes in Frage. Die Mehrkosten, die hierfür gegenüber flachen Gruben entstehen, lassen sich natürlich zahlenmäßig nicht genau angeben; sicher ist aber, dass sie viele Millionen darstellen, und alle diese Mehrwerte müssen getilgt und verzinst werden.“

Bis zum Jahr 1922 waren auf der Zeche Radbod bereits weitreichende Anstrengungen unternommen worden, um die Grubenwärme zu beherrschen. Stapff schildert in seinem 1922 erschienen Aufsatz „Ergebnisse der Wärmebekämpfung auf der Zeche Radbod“ (3) die Maßnahmen, die zu einer Verdoppelung der Wettermenge auf Radbod führten.

Das Grubenfeld (**Bild 1**) markscheidete mit den lebenden Bergwerken Werne im Westen, de Wendel im Süden und Sachsen im Osten. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Schächte I bis IV betrieben mit den Durchmessern 6,5, 6,5, 4 und 6,1 m. Folgende Sohlen waren vorhanden: Erste Sohle bei 717 m (abgeworfen), zweite Sohle bei 772 m als Wettersohle, dritte Sohle bei 849 m als Bausohle im Nord- und Westfeld und als Wettersohle im Ostfeld, vierte Sohle bei 968 m als Bausohle.



**Bild 1, Grubenfeld und Schächte der Zeche Radbod**

Auf der ursprünglichen Doppelschachanlage zog Schacht I ein und Schacht II aus. Hierzu war ein Ventilator mit einer Höchstleistung von 13.000 m<sup>3</sup>/min vorhanden, der später auf 16.000 m<sup>3</sup>/min ertüchtigt wurde (3).

Mit Abteufen der beiden Außenschächte III und IV sollte die Wetterführung rein grenzläufig werden; die Schächte I und II dementsprechend einziehen. Damit sollte auch die Erhöhung der Förderkapazität im dann einziehenden Schacht II verbunden sein.

Im April 1913 wurden an Schacht III und im August 1918 an Schacht IV Ventilatoren von jeweils 10.000 m<sup>3</sup>/min Leistung in Betrieb genommen. Der Lüfter an Schacht II wurde stillgesetzt.

Diese Maßnahme bewährte sich jedoch nicht, weil die nutzbare Wettermenge von vorher 13.000 bis 14.000 m<sup>3</sup>/min auf 10.000 m<sup>3</sup>/min sank. Die Ursache war das Vorhandensein von jeweils nur einer Gesteinsstrecke zu den Ausziehschächten, die auf Grund des starken Gebirgsdruckes in großen Abschnitten verengt waren (3).

Deshalb wurde bereits ab November 1918 Schacht II wieder mit Hilfe eines kleineren Ventilators mit 10.000 m<sup>3</sup>/min als Ausziehschacht in Betrieb genommen. Dadurch stieg die nutzbare Wettermenge auf 12.000 m<sup>3</sup>/min.

Im November 1919 wurde erneut der Lüfter an Schacht II abgeschaltet, um Energie zu sparen. Die Stromersparnis wurde zwar erreicht, die nutzbare Wettermenge sank aber wieder auf 9.000 bis 10.000 m<sup>3</sup>/min.

Die Folge war aber auch die Erwärmung der Grube, die zunächst nicht so stark bemerkbar war, weil die Umstellung zur kalten Jahreszeit erfolgte.

Die Zahl der Arbeiter in Kurzschichten hielt sich im Winter 1919/20 und im Frühjahr 1920 mit 6,5% und 11,7% in Grenzen. Im Sommer 1920 stieg die Zahl aber auf 60% der Gesamtbelegschaft und mehr als 85% der Hauer und ging auch im darauffolgenden Herbst 1920 und dem anschließenden Winter nur auf 53% an der Gesamtbelegschaft zurück (3).

Im Juni 1921 betrug der Anteil der Gesamtbelegschaft in Kurzschichten 56,1% gegenüber 34% im Juni 1920.

Das starke Ansteigen der Kurzschichten und das dadurch verursachte Absinken der Leistung zeigte, dass die rein grenzläufige Wetterführung unter den gegebenen Umständen nicht haltbar war.

Es wurde deshalb bereits Anfang 1921 beschlossen, wieder nur Schacht 1 als einziehenden Schacht zu nutzen, sobald eine Reihe von Arbeiten zur Vergrößerung der Grubenweite abgeschlossen war. Die vergrößerte Grubenweite sollte eine größere Wettermenge und eine bessere Nutzung der installierten Leistung erbringen.

Die Projekte waren nach Stapff die Auffahrung einer Richtstrecke im Gestein mit 13 m<sup>2</sup> Querschnitt auf der vierten Sohle, wo vorher nur die durch starken Gebirgsdruck verengten Grundstrecken in Flöz Präsident als Richtstrecken dienten, die Herstellung einer zweiten Wetterverbindung mit Schacht III durch eine Richtstrecke im Gestein auf der dritten Sohle, sowie das Weiter-teufen des Schachtes I von der dritten zur vierten Sohle und das Auffahren des südlichen Schachtquerschlags mit 20m<sup>2</sup> Querschnitt auf der vierten Sohle von Schacht I bis zur Grundstrecke in Flöz Präsident.

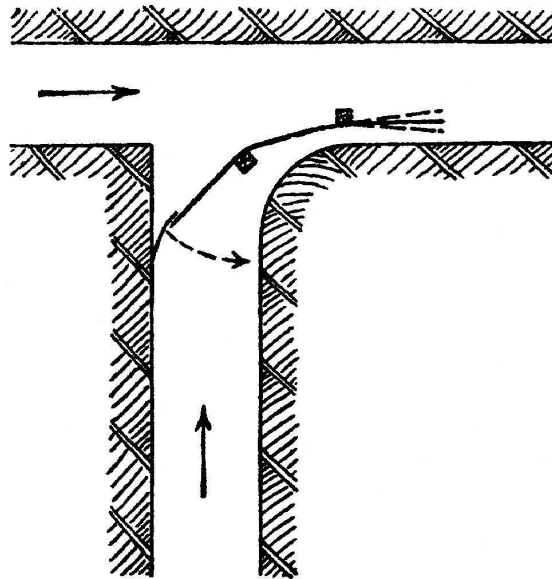
Die genannte Richtstrecke auf der dritten Sohle war im Juni 1921 durchschlägig. Dadurch ergab sich eine Erhöhung der Wettermenge um 2.000 auf 12.000 m<sup>3</sup>/min.

Das Schachtabteufen war im Juli 1921 fertig, so dass die Wetterführung am 31. Juli 1921 umgestellt werden konnte. Hierdurch vermehrte sich die Wettermenge auf 14.000 m<sup>3</sup>/min (3).

Weitere Maßnahmen zur Erhöhung der Grubenweite, wie Beseitigung scharfer Krümmungen oder Erweiterung der Wetterstrecken in den Flözen, führten bis Dezember 1921 zum allmählichen Anwachsen der nutzbaren Wettermenge auf 20.000 m<sup>3</sup>/min.

Das galt im besonderen auch für die Vermeidung von Wetterkurzschlüssen, durch die mehr als die Hälfte der Wetter verloren gehen können.

Auf zwei Details weist Winkhaus (4) hin. Einmal wurde auf Radbod eine neue Art der Wetterdrosselung, siehe auch **Bild 2**, angewendet, die den großen Energieverlust der Drosseltüren vermied.



**Bild 2, Einrichtung zur Drosselung des Wetterstromes**

Der Wetterstrom wurde durch die allmähliche Verengung des Wetterquerschnitts gedrosselt, die Mündung des austretenden Stromes wird in die Hauptwetterstrecke verlegt, wo der Wetterstrom mit erhöhter Geschwindigkeit austritt und wie ein Gebläse funktioniert und dadurch die Wetterführung unterstützt. Als Alternative zur Drosselung schlägt Winkhaus (5) den Einsatz von Hilfslüftern in entlegenen oder sehr widerstandsreichen Wetterabteilungen vor. Anstatt durch Drosselung die Gesamtwettermenge zu verringern, kann dadurch der Wetterstrom in solchen Abteilungen erhöht werden.

Zum anderen wurden auf der Zeche Radbod enge Strecken in Türstockzimmerung mit einer glatten Auskleidung an den Stößen und der Firste versehen. Der dadurch verringerte Reibungswiderstand führte zu einer Erhöhung der Wettergeschwindigkeiten und damit Wettermengen ( siehe **Punkt 7.1.2.2** ) .

Stapff (3) berichtet, dass die genannten Maßnahmen sehr erfolgreich waren.

Zum Beispiel sank die Zahl der in Kurzschichten arbeitenden Kohlenhauer von 83% im Juni 1921 auf 15,6% im Juni 1922.

Ab August 1921, also beginnend unmittelbar nach der Wetterumstellung, stieg die Leistung um ein größeres Maß an als es der reinen Schichtzeitverlängerung entsprach. Sie war Ausdruck der erhöhten Leistungsfähigkeit der Bergleute durch die günstigeren klimatischen Verhältnisse. Die Schichtleistung erhöhte sich als Folge der Abkühlung um bis zu 32%; analog stieg die tägliche Förderung von 1.712 t im Mai 1921 auf den Höchstwert von 2.400 t im März 1922 (3).

Den Weg, hohe Temperaturen durch große Wettermengen zu bekämpfen, ging man auch auf der Zeche Westfalen.



Heine (6) schreibt dazu etwa 1924: „Um den zu erwartenden hohen Grubentemperaturen wirksam entgegentreten zu können, wurden von der Werksleitung seinerzeit beim Abteufen von vornherein Bekämpfungsmaßnahmen angewandt, dergestalt, dass man den niedergebrachten Schächten, den später ausgesetzten Füllörter, den Richtstrecken und Querschlägen derartige Dimensionen zukommen ließ, wie sie bisher auf weniger tiefen Gruben nicht in Frage kamen.....Durch diese großen Querschnitte war man in der Lage, den Grubenbauen und Ortsbetrieben größere Wettermengen von erträglicher Temperatur zuzuführen als sie von der Bergbehörde pro Kopf und Minute (nämlich 3 m<sup>3</sup>) vorgeschrieben sind.“ Die Zeche Westfalen setzte also in erster Linie auf eine ausreichende Bewetterung und betrieb dafür auch einen erheblichen Aufwand, auch in wirtschaftlicher Hinsicht (6).

In einer weiteren Diplomarbeit, die sich etwa 1925 mit der Problematik der großen Teufe auf der Zeche Westfalen befasst, schreibt Berndt (7): „Da die Grube zur Zeit die nördlichste des Ruhrgebietes ist und der Mergel nach Norden an Mächtigkeit zunimmt, haben die Schächte die bedeutende Teufe von 1.090 m erreicht. Die erste oder Wettersohle ist bei 945 m, die zweite oder Bausohle bei 1.035 m Teufe angesetzt.

Diese Teufen, die bisher im Bergbau auf Steinkohle nur selten erreicht worden sind, bringen es mit sich, dass die Temperatur in den Grubenbauen auf ganz beträchtliche Höhe anwächst.

Nach angestellten Messungen ergibt sich auf der Bausohle eine Gesteinstemperatur von 47°, das einer geothermischen Tiefenstufe von 26,5 m entspricht, eine Zahl, die unter dem allgemeinen Durchschnitt – für den Ruhrkohlenbezirk nach Heise-Herbst 28 m (**Punkt 3.2**) – liegt.

Um bei dieser hohen Temperatur den Betrieb des Werkes rentabel zu gestalten, musste man in erster Linie darauf bedacht sein, die Temperatur der Wetter so niedrig wie möglich zu halten.

Von den verschiedenen Mitteln, die für die Kühlung der Grubenwetter herangezogen werden können, wie z.B. Kühlung durch Wasser als Oberflächen- oder Spritzkühlung, ist auf der hiesigen Anlage keines zur Anwendung gekommen. Hier hat man die Frage dadurch gelöst, dass man einerseits die durch die Grube geleitete Wettermenge so groß als möglich bemisst, wodurch zwecks Vermeidung zu hoher Wettergeschwindigkeiten, die nach § 128 der A.B.P.V. in Strecken, welche der regelmäßigen Förderung oder Ein- und Ausfahrt der Belegschaft dienen, 6 m/sec nicht übersteigen darf, eine entsprechend große Bemessung der Streckenquerschnitte bedingt war.

So sind die Richtstrecken in einem Querschnitt von etwa 20 qm aufgeföhren, und die Abteilungsquerschläge und Abbaustrecken haben ein größeres Profil als es allein zur reibungslosen Abwicklung der Förderung nötig wäre.

Eine Erhöhung der Wettergeschwindigkeiten, bergpolizeiliche Genehmigungen vorausgesetzt, wäre wegen der Aufwirbelung und Fortführung des zur Bekämpfung von Kohlenstaubexplosionen ausgestreuten Gesteinsstaubes nicht wünschenswert.

Um also die Fortbewegung der großen Wettermengen, 16.000 cbm/min am einziehenden Schacht I, zu ermöglichen, muss an den großen Streckenquerschnitten festgehalten werden, was auch auf die Haltbarkeit des Ausbaus zurückwirkt.“

In die Richtung, ausreichende Wettermengen bereitzustellen, ging auf der Zeche Westfalen auch die Anwendung der Sonderbewetterung, die um diese Zeit, wie Heine (6) aufzeigt, bereits systematisch eingesetzt wurde:

“Bekanntlich bedient man sich beim Herstellen von Aufbrüchen, Gesenken, Überhauen, Bremsbergen usw. der sogenannten Sonderbewetterung, d.h. der Bewetterung mit besonderer Kraft (Ventilator, Strahldüse, Schlottergebläse, Turbine).

Diese Art der Spezialbewetterung findet auf der Zeche Westfalen besondere Anwendung.

Z.B. besteht die Bestimmung, dass die Örter den Streben 30 – 40 m voraus sein müssen. Hierdurch soll folgendes erreicht werden:

Stößt das Ort beim Vorantreiben auf eine Störung (des öfteren der Fall bei den gestörten Verhältnissen der Grube), hinter der das Flöz wieder anzutreffen ist, so wird die Störung durchörtert und gleich dahinter wieder neu aufgehauen.

Hat der nachfolgende Kohlenstoß der Strebe die Störung erreicht, so ist das Überhauen fertig, und es kann gleich mit dem neuen Abbau begonnen werden. Auf diese Art wird ein eventuelles Stunden der Strebe vermieden.

Zur Bewetterung des Überhauens werden zwei Luttentouren von je 600 mm Durchmesser benutzt. Die erste Luttentour (blasend), die dem Überhauen frische Wetter zuführt, wird bis zum Fuße des Aufhauens noch durch eine Sägemehlschicht isoliert, um die Temperatur herabzusetzen; die zweite (saugend) bringt die verbrauchten Wetter in die Strecke, wo sie dann durch die Strebe zur Wettersohle abziehen. Die zweite Luttentour kann auch durch Herstellen eines dichten Dammes (Wetterscheider) ersetzt werden.

Jedoch muss zum Absaugen der verbrauchten Wetter ein Ventilator vorhanden sein.

Aufbrüche und Gesenke werden auf dieselbe Art bewettert. Auch bei ihnen werden die Luttentouren, die die frischen Wetter führen, mittels einer Sägemehlschicht isoliert.

Um die Geschwindigkeit des Wetterstromes, da wo es nötig ist, zu erhöhen, werden Ventilatoren, Düsen usw. angebracht.“

Die Verhältnisse und Aufgabenstellungen waren auf der Zeche Sachsen um diese Zeit vergleichbar mit denen auf der Zeche Radbod.

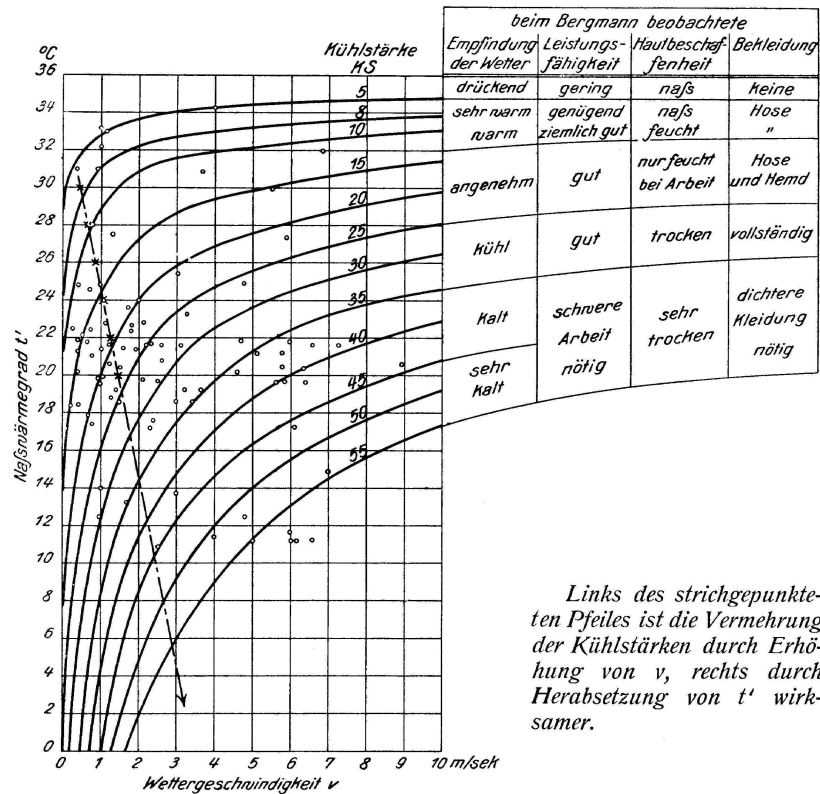
Entsprechend wurden auch ähnliche Wege beschritten. Jansen beschreibt im Jahr 1927 (8), dass auch auf der Zeche Sachsen die Wettermenge verdoppelt wurde. Diese Maßnahme führte jedoch nicht zu einer Halbierung der Temperaturerhöhung. Jansen führt folgende Gründe an (8):

Zunächst musste der Einziehweg wegen der bergpolizeilichen Begrenzung der Wettergeschwindigkeit auf 6 m/sec erweitert werden. dadurch wuchs auch der Streckenumfang und damit die Heizfläche, an der das Gebirge die vorbeiströmenden Wetter erwärmen konnte.

In Strecken, in denen durch die Verdoppelung der Wettergeschwindigkeit die Grenze von 6m/sec nicht überschritten wurde, wurde der Temperaturunterschied zwischen Gebirge und Wetter und damit der Wärmeübergang aus dem Gebirge größer.

Daher ging bei Verdoppelung der Wettermenge die Temperaturerhöhung zum Beispiel nach 200 m Wetterweg von ursprünglich 6°C zuerst nur auf 4,5°C und nach einigen Monaten auf 4°C zurück. Dennoch wuchs die Kühlfähigkeit der Wetter um 9 KS, von 17 KS auf 26 KS, weil durch die größere Wettermenge

außer der Temperatur auch die Feuchtigkeit um 5%, der Nasswärmegrad um 3°C, von 23°C auf 20°C, gefallen und die Geschwindigkeit von rund 1 m/sec auf 2 m/sec gestiegen war (8).



**Bild 3, Abhängigkeit der Kühlstärken (feucht) von Wettergeschwindigkeit und Nasswärmegrad (Näherungskurven)**

Nach **Bild 3** (aus Gründen der Übersichtlichkeit wird hier das unter **Punkt 5.2** bereits angeführte Bild noch einmal dargestellt) musste durch die Verdoppelung der Wettermenge der Katagrad von 16,5 KS (Nasswärmegrad von 23°C und Wettergeschwindigkeit von 1 m/sec) auf 26,1 KS (Nasswärmegrad von 20°C und Wettergeschwindigkeit von 2 m/sec) steigen, was mit der obigen Messung übereinstimmt.

Von dieser Zunahme der Kühlstärke durch Verdoppelung der Wettergeschwindigkeit sind nur 3 KS auf die Herabsetzung der Temperatur zurückzuführen, 6 KS, oder 67%, auf die Erhöhung der Wettergeschwindigkeit (8).

Eine besondere Rolle für die Bereitstellung ausreichender Wettermengen spielte die Vermeidung von Wetterverlusten.

Auf der Zeche Sachsen richtete man deshalb ein besonderes Augenmerk auf die Vermeidung von Wetterkurzschlüssen (8).

Die Wetterkurzschlüsse entstanden durch die Undichtigkeiten und das Öffnen der Wettertüren und durch undichten Bergeversatz.

Die starke Wirkung der Undichtigkeiten zeigte sich anlässlich einer Untersuchung der Bergbehörde auf der Zeche Sachsen, die durch eine Beschwerde des Betriebsrates ausgelöst worden war, dass die tatsächlichen Temperaturen weit höher seien als die von den Steigern angegebenen (8).

Dabei stellte sich heraus, dass die Temperaturen durch Offenlassen von Wettertüren, und daraus resultierenden Kurzschlüssen, innerhalb weniger Minuten um 6°C ansteigen konnten. Selbst neue und gutschließende Wettertüren dichten nicht vollständig, so dass bei geschlossener Tür noch 10% der Wettermenge, die bei offener Tür hindurchströmt, als Kurzschlussstrom hindurchgeht.

Bei Wettermengen über 500 m<sup>3</sup>/min muss der Einbau mehrerer Wettertüren hintereinander vorgesehen werden, weil die Kurzschlussverluste sonst prozentual noch höher werden.

Hohlräume und Blindörter im Versatz und die daraus entstehende Bruch- und Spaltenbildung im Gebirge verursacht ebenfalls erhebliche Kurzschlüsse. Erschwerend kommt hinzu, dass die Schleichwetter durch den Alten Mann nicht nur vor Ort fehlen, sondern dadurch ausgelöste Oxidationsvorgänge eine deutliche Temperaturzunahme der Wetter bedingen (8).

Obwohl auf der Zeche Sachsen streng auf die Vermeidung von Wetterkurzschlüssen geachtet wurde, ergaben Messungen in den 1920er Jahren, dass dort 3.000 m<sup>3</sup>/min oder 25% der Gesamtwettermenge verloren gingen.

Andere Bergwerke hatten um diese Zeit weitaus größere Wetterverluste; so erwähnt Jansen ein Bergwerk mit einem Wetterscheider, bei dem die Kurzschlussverluste über 60% betragen.

Je mehr Wetterkurzschlüsse vermieden werden, um so mehr Wetter werden den Betrieben zugeführt, wodurch die Temperatur und die Feuchtigkeit herabgesetzt werden und die Wettergeschwindigkeiten steigen. Als Ergebnis nimmt die Kühlstärke der Wetter zu (8).

## **Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

*Die Erhöhung der Wettermengen und damit Wettergeschwindigkeiten wurde von Anfang an als erfolgreichstes Instrument zur Beherrschung des Grubenklimas erkannt.*

*Entsprechend wurden schon früh Maßnahmen ergriffen, die die äquivalente Grubenweite vergrößerten.*

*Der Grubenzuschnitt wurde in Richtung großer Wettermengen optimiert und zusätzliche Maßnahmen wie die Sonderbewetterung ergriffen.*

*Auch nach dem zweiten Weltkrieg, als man begann, sich des Themas des Grubenklimas verstärkt wissenschaftlich anzunehmen, spielte die Frage der Wettermengen eine herausragende Rolle, siehe dazu auch **Punkt 7.1.4**.*

### **Literatur:**

- (1) Herbst,F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 429 - 436
- (2) Andre,W.: Betriebserschwerisse in tiefen Gruben, Glückauf 1922, S. 97 - 102
- (3) Stapff,M.: Ergebnisse der Wärmebekämpfung auf der Zeche Radbod, Glückauf 1922, S. 893
- (4) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 677 - 683
- (5) Winkhaus,H.: Gesamtwärme und Kühlleistung in tiefen, heißen Gruben, Glückauf 1923, S. 233 - 240
- (6) Heine,H.: Die Durchschnittsleistung je Mann und Schicht steht auf der Zeche Westfalen I/II in Ahlen in Westfalen hinter der der Zechen im rheinisch-westfälischen Industriegebiet zurück. Es ist zu untersuchen, ob und in welcher Weise eine Erhöhung der Leistung durch Verbesserung der Wetterführung, Herabsetzung der Temperatur und Einführung weiterer maschineller Hilfsmittel herbeigeführt werden kann, Diplomarbeit etwa 1924, DBM/montan.dok/Bergbau-Archiv Bochum 157/618
- (7) Berndt: Bergmännische Diplomarbeit, etwa 1925, DBM/montan.dok/Bergbau-Archiv Bochum 157/618
- (8) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.83 - 97

### **Bilder:**

**Bild 1** Grubenfeld und Schächte der Zeche Radbod, Stapff,M.: Ergebnisse der Wärmebekämpfung auf der Zeche Radbod, Glückauf 1922, S. 893

**Bild 2** Einrichtung zur Drosselung des Wetterstromes, Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 681

**Bild 3** Abhängigkeit der Kühlstärken (feucht) von Wettergeschwindigkeit und Nasswärmegrad (Näherungskurven), Jansen,F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 91

### **7.1.1.2 Grubenzuschnitt, Streckenquerschnitte**

Nach Heise und Drekopf (**I**) ist nur der Ausgleichsmantel zu nutzen, dessen Ende, das ist der Punkt, an dem die Temperaturschwankungen genügend klein

geworden sind, vor den wechselnden Betriebspunkten liegt. In idealer Weise sollte sich der Ausgleichsmantel auf den Einziehschacht und die unmittelbar anschließenden Grubenbaue beschränken.

Daraus werfen Heise und Drekopf die Frage auf, welche Einflussmöglichkeiten auf die Bildung des Ausgleichsmantels bestehen. Die

Temperaturschwankungen der Außenluft können zunächst nicht beeinflusst werden, bis auf die begrenzten Möglichkeiten wie die Verlegung des Schachtes in schattiges Gelände oder die Leitung der Wetter durch einen Vorkühler in der neutralen Temperaturzone. Eine stärkere Wirkung ist natürlich durch die Verstärkung der Wetterführung in den kühleren Tages- oder Jahreszeiten zu erzielen und besonders durch zusätzliche Kühlmaßnahmen, auf die in **Punkt 7.1.3.4** eingegangen wird.

Die Wärmeleitfähigkeit des Gebirges, in dem sich der Ausgleichsmantel bilden soll, ist eine vorgegebene Größe.

Sollen die oben angesprochenen Zusatzmaßnahmen hier außer Betracht bleiben, stehen als veränderliche Größen die Wettergeschwindigkeiten und die Querschnitte der beteiligten Grubenbaue zur Verfügung (**1**).

Je kleiner der Durchmesser zum Beispiel eines Schachtes ist, um so größer ist die Berührungsfläche zwischen Wetter und Gebirge in Relation zur Wettermenge. Unter rein klimatischen Gesichtspunkten - die den anderen betrieblichen und wirtschaftlichen Belangen natürlich teilweise widersprechen - wären zum Beispiel vier Schächte von je 3 m Durchmesser in der Lage, bei gleicher Wettergeschwindigkeit und Wettermenge eine mehr als doppelt so große Wärmemenge zu speichern wie ein Schacht von 6 m Durchmesser. Daraus folgt, dass weite Grubenbaue den Ausgleichsmantel verlängern und engere Grubenbaue den Ausgleichsmantel verkürzen (**1**).

Die Steigerung der Wettergeschwindigkeit führt dazu, dass je  $m^3$  Wetter weniger Wärme aus dem Gebirge aufgenommen werden kann, weil die Berührungsdauer entsprechend kleiner wird (**1**). Das führt aber auch dazu, dass der Ausgleichsmantel mit steigender Wettergeschwindigkeit länger wird.

Jansen (**2**)(**3**)(**4**) beschäftigt sich in den 1920er Jahren auf der Zeche Sachsen sehr intensiv mit der Wechselwirkung zwischen dem Gebirge und den Wetter.

Die vom Gebirge abgegebene Wärme steigt nach Jansen mit dem Temperaturgefälle zwischen Gebirge und Wetter, der Wärmeleitfähigkeit des Gesteins und der Heizfläche des Wetterweges (Umfang x Länge) (**2**).

Der Umfang des Wetterweges, der bei rundem Querschnitt relativ am kleinsten ist, schwankt in den Ein- und Ausziehwegen zwischen 10 und 30 m, im Abbau zwischen 6 und 11 m. In den ersten Strecken kann der Querschnitt wegen der bergpolizeilich vorgeschriebenen maximalen Wettergeschwindigkeit von 6m/sec, die teilweise schon überschritten wurde, nicht verringert werden (**3**).

Die Länge der Wetterwege war nicht zu verkürzen, da die Zeche Sachsen Mitte der 1920er Jahre ohnehin noch nahe am Einziehschacht baute.

Der große Einfluss der Wettergeschwindigkeit auf die Kühllhaltung der Wetter legte es nahe, den Effekt der Steigerung der Kühlstärke, statt durch Verdoppelung der Wettermenge, durch die Halbierung der Streckenquerschnitte und damit Verdoppelung der Wettergeschwindigkeit zu erreichen, wodurch wegen der Abnahme des Streckenumfangs die Wärmeabgabe aus dem Gebirge verringert würde (4).

Bisher waren die Abbauquerschnitte häufig möglichst groß gehalten worden, um die Wetterwiderstände klein zu halten.

Neben der Schaffung geringer Querschnitte durch den Versatz, sorgt dichter Versatz für eine geringe Kontakt- und damit Heizfläche und dadurch geringere Erwärmung der Wetter.

Von daher schlägt Jansen (4) vor, die Abbauquerschnitte zu verkleinern, was in vielen Fällen weder zu einer Behinderung der Förderung noch zu einer Überschreitung der Wettergeschwindigkeit von 6 m/sec führen dürfte.

Auf der Zeche Sachsen wurde diese Verkleinerung der Abbauquerschnitte bereits seit einigen Jahren praktiziert, so dass in den Abbaubetrieben in der Regel ausreichende Kühlstärken vorhanden waren. Sie waren nur unmittelbar vor Ort in der Kohलगewinnung niedriger, wenn durch Zurückbleiben des Versatzes die Querschnitte größer und die Wettergeschwindigkeiten geringer wurden (4).

Bei Versuchen auf der Zeche Sachsen ergaben sich ungefähr die gleichen Kühlstärkezunahmen, wenn die selbe Geschwindigkeitszunahme einmal durch die Verdoppelung der Wettermenge und einmal durch die Halbierung des Wetterquerschnitts erreicht wurde, weil im zweiten Fall die Kühlwirkung der Wetter wegen der Verringerung des Wärmeübergangs aus dem Gebirge stieg (4).

*Neben den eigentlichen Zuschnittsfragen spielte auch schon früh die Frage der zeitlichen Abfolge der Projekte, unter dem Aspekt, dadurch wetter- und klimatechnisch möglichst sinnvoll zu handeln, eine große Rolle.*

*Durch frühzeitiges Auffahren von langlebigen Grubenräumen wollte man erreichen, dass die Gebirgswärme bereits abgebaut bzw. ein Kältemantel als Vorrat um diese Grubengebäude entstanden war, bevor die Hauptaktivitäten der bergmännischen Tätigkeit begannen – auch eine Forderung der Bergbehörde an die Bergwerke (5).*

*Diesem unter Gesichtspunkten der Klimabeherrschung sinnvollen Ansinnen widersprach jedoch, dass gerade bei den tiefen Gruben der herrschende Gebirgsdruck und die dadurch verringerte Standfestigkeit der Strecken einer solchen Vorgehensweise entgegenstand.*

*Dennoch ist dort, wo es gebirgsmechanisch möglich war, eine frühzeitige Ausrichtung im Zusammenhang mit anderen Maßnahmen zur Klimabeherrschung erfolgt.*

Herbst schreibt 1920 (6) dazu: „Außerdem wird man die Ausrichtung einer tiefen Sohle beschleunigen können, damit auf dieser der kühlende Wetterstrom schon einige Monate vor der Eröffnung des Abbaubetriebes zu wirken vermag; der dabei eintretende Zinsverlust müsste dann auf die Kühlkosten verrechnet werden.

Hiernach würde sich für die Ausnutzung der natürlichen Luftkälte durch möglichst ausgiebige Bewetterung etwa folgendes Verfahren ergeben: Zur Verhütung einer vorzeitigen Erwärmung der Wetter im Schacht wird dessen unterer Teil unter Benutzung von Wärmeschutzmitteln ausgemauert oder durch Kühlwasser berieselt. Die neu aus- und vorzurichtende Sohle wird einige Monate früher, als für den Abbau erforderlich ist, in Angriff genommen und einer kräftigen, in den Nachtstunden und an kältern Tagen noch verstärkten Bewetterung ausgesetzt. Durch Einbau von schrägen Prallflächen an den Stößen könnte eine bessere Mischung des Wetterstromes erreicht und damit dessen Kühlwirkung begünstigt werden. Die Verstärkung während der kühlern Stunden würde durch einen unterirdisch aufgestellten Hilfsventilator, mit Druckluft angetrieben, erzielt werden.“

Herbst macht im Jahr 1920 einige grundsätzliche Feststellungen zu den Zuschnittsfragen (7).

Danach geht er zunächst noch einmal auf die Unterschiede zwischen den auf eine längere Lebensdauer eingerichteten Grubenbauen wie Richtstrecken, Querschlägen und Blindschächten ein und den Grubenbauen im Abbaubereich, die eine nur kurze Lebensdauer haben und sich zudem permanent im Gebirge fortbewegen.

Während in den langlebigeren Grubenbauen wenigstens keine Kühlwirkung verloren geht, weil sie zum Aufbau eines Kältemantels genutzt werden kann, trifft dies für die Strecken im Flözbereich, sowohl für die Flözstrecken als auch für die Strecken im Versatz, nicht zu. Ein Vorrat in Form eines Kältemantels kann sich hier nicht bilden (7).

Für diese Grubenbaue gilt, dass nach Herbst auf eine möglichst geringe Erstreckung der Vorrichtungsbau, möglichst rasch der Vorrichtung folgenden Abbau und Verringerung der Abbaustrecken geachtet werden soll.

Als zweckmäßigste Abbauverfahren schlägt Herbst solche mit „breitem Blick“, also langfrontartige, und geschlossenem Versatz vor, da sie relativ wenig Vorrichtung erfordern und eine geschlossene Zusammenfassung stärkerer Wetterströme ermöglichen.

Die Vermehrung der Wettermenge und -geschwindigkeit und die Verringerung der abgegebenen Gebirgswärme müssen nach Jansen (4) schon bei der Aus- und Vorrichtung einer tiefen Steinkohlengrube berücksichtigt werden, was durch schärfste Zusammenfassung und stärkste Belegung der Betriebe, Verringerung von Zahl und Länge der Einziehwege und Förderung der Kohlen durch den Ausziehstrom möglich ist. Durch eine Erhöhung der Wettergeschwindigkeit über das Maß von 6 m/sec hinaus könnten die Querschnitte und damit die Wärmeabgabe aus dem Gebirge noch weiter verringert werden.

Die Wetter lassen sich länger zusammen halten, indem von einem Blindschacht mehrere Abteilungen vorgerichtet werden und die Teilung des Wetterstromes erst unmittelbar vor dem Abbau erfolgt.

Bei der großen Wettermenge der Haupteinziehströme kann die Wärmeabgabe des Gebirges keine beträchtliche Temperatursteigerung verursachen, die sich



daher auch bei der Verlängerung der Haupteinziehwege nur unbeträchtlich erhöht (4).

Die Aus- und Vorrichtungsarbeiten sollten nach Jansen (4) wegen der starken Erwärmung der Wetter beim Durchfahren des ungekühlten Gebirges nur nach einem unter Wetter- und Klimagesichtspunkten aufgestellten Zeitplan durchgeführt werden.

Die sonderbewetterten Betriebe müssen, damit die Kühlstärke in ihnen nicht zu niedrig wird und die aus den Vorrichtungsbetrieben kommenden warmen Wetter, die möglichst dem Ausziehstrom zuzuführen sind, nicht zu lange andere Betriebe belästigen, durch stärkste Belegung so schnell wie möglich, auf kürzestem Wege, mit kleinstem Querschnitt, isolierten Luttensträngen und nur während des Winters aufgefahren und zum Durchschlag gebracht werden.

Die Wettertemperatur steigt im Abbau durch die Gebirgs- und Oxidationswärme am meisten, bei gleichzeitig geringerer Wettergeschwindigkeit.

Deshalb muss hier besonders auf geringste Querschnitte, kleinste Abbaulänge und dichten Versatz geachtet werden. Durch maximale Belegung jeder Wetterabteilung mit den zugelassenen 60 Mann kommt es zu der bestmöglichen Konzentration und dadurch geringst möglichen Teilung des Wetterstroms (4).

Herbst (7) schlägt auch vor, die Wetterquerschläge so zu legen, dass der Abbau auf sie zuschreitet, also Rückbau, und so der Wetterstrom im Abbau am Kohlenstoß vorbeigeführt wird und nicht am Versatz, um Wetterverluste und Erwärmung durch Oxidation möglichst zu vermeiden.

## **Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

*Um die Kontaktfläche zwischen Gebirge und Wetter und damit den Wärmeübergang möglichst gering zu halten, wurden dort, wo andere betriebliche Erfordernisse nicht dagegen standen, die Streckenquerschnitte möglichst gering gehalten. Die dadurch erhöhte Wettergeschwindigkeit verringerte zusätzlich die Wärmeaufnahme der Wetter, weil sich die Verweilzeit an der Kontaktfläche verkürzte.*

*Eine besondere Bedeutung hatte dabei ein dichter und unverzüglich eingebrachter Versatz, der einerseits für geringe Querschnitte im Abbau sorgte und andererseits die Kontakt- und damit Heizfläche möglichst gering hielt.*

*Hier ist eine Gesamtbetrachtung erforderlich, die auch die Frage eines höheren Wetterwiderstandes durch verringerte Abbauquerschnitte beinhaltet.*

*War die Schaffung geringer Abbauquerschnitte durch dichten und frühzeitigen Versatz früher sehr erfolgreich, ist diese Methode heute bei den hohen Abbaugeschwindigkeiten nicht mehr möglich.*

*Allerdings wird heute der Strebraum durch die Schildsäule klein gehalten. Zusätzlich wäre eine Wärmeisolierung der Schilde zum Alten Mann hin denkbar, um dem Wärmezufluss zu begrenzen.*

*Der Effekt könnte noch dadurch verstärkt werden, dass die Schilde mit gekühlten Betriebsflüssigkeiten, die wie die Hydraulikflüssigkeit ohnehin für den Betriebsablauf erforderlich sind, durchströmt werden, die strebseitig über Wärmetauscher Wärme aus den Wetterern aufnehmen könnten.*

*Ein günstiger Effekt wurde durch eine möglichst geringe Erstreckung des Grubengebäudes erzielt. Die Wetter konnten möglichst geschlossen den Abbauen zugeführt werden, wobei die Erwärmung auf das unumgängliche Maß beschränkt werden konnte.*

*Dadurch wurde das wichtigste Instrument zur Beherrschung des Grubenklimas, die Bereitstellung ausreichender, möglichst kühler, Wettermengen, unterstützt.*

*Ein Widerspruch, der sich aus der großen Teufe der Gruben ergab, bestand in der Bestimmung des richtigen Zeitpunkts für die Ausrichtung.*

*Auf den tiefen, warmen Gruben war die frühzeitige Ausrichtung unter Klimagesichtspunkten sinnvoll, um die Auskühlung des Gebirges bis zum Anlaufen des Abbaus zu ermöglichen. Dem widersprachen Gebirgsdruckaspekte, unter denen wegen des hohen Überlagerungsdrucks eine möglichst kurze Standzeit der Ausrichtungsstrecken sinnvoll gewesen wäre. In der Praxis erfolgte in den tiefen Gruben dort, wo es gebirgsmechanisch möglich war, eine frühzeitige Ausrichtung.*

## **Literatur:**

(1) Heise, F. und K. Drekopf: Zur Frage der Ausnutzung des Wärmeausgleichsmantels, Glückauf 1923, S. 1073 - 1079

(2) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.1 - 12

(3) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.51 - 58

(4) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.83 - 97

(5) Besprechung des Rekurses vom 21. Juni 1909 gegen den Beschluss des Oberbergamtes vom 19. Mai 1909 betr. den Betriebsplan der Zeche Werne, DBM/montan.dok/Bergbau-Archiv Bochum 57/43

(6) Herbst, F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 429 - 436

(7) Herbst, F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 489 - 492

### 7.1.1.3 Abwärtsbewetterung

Der Gedanke der Abwärtsbewetterung, deren Anwendung Einschränkungen durch die Bergbehörde unterliegt, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, als Maßnahme zur Verbesserung des Grubenklimas wird bereits im Jahr 1927 von Jansen angesprochen (1).

Anfang der 1950er Jahre wird der Gedanke wieder aufgegriffen (2)(3).

Wegen der zunehmenden Gebirgswärme und Selbstverdichtung der Wetter zur Teufe hin war es logisch, die Frage der Abwärtsbewetterung zu diskutieren. Ein konkreter Ansatz für dieses Verfahren ergibt sich in der Ausarbeitung von Lange aus dem Jahr 1955 „Schwierigkeiten des Steinkohlenbergbaus bei zunehmender Teufe“ (4).

Nach Lange wird der Fortschritt in die Teufe durch die aufsteigende Wetterführung beeinträchtigt.

Die Absicht geht deshalb dahin, durch die abfallende Bewetterung Einziehstrom und Förderung zu trennen.

Aus dem Gebirgskörper wird dabei den Wettern weniger Wärme zugeführt, weil sie auf der höheren Sohle entsprechend niedriger ist (4).

Bedeutsamer ist nach Lange, dass sowohl die gesamte Wärmeabgabe aus der Förderkohle als auch die freiwerdende Wärme aus dem Förderbetrieb in den Förderstrecken unmittelbar in den Ausziehstrom geht, also das Grubenklima im Abbau nicht belastet. Außerdem spielt die Oxidation der Kohle, und die damit verbundene Wärmeentwicklung, in den Einziehwegen dann keine Rolle, wenn die Bewetterung eines Abbaubetriebes fallend erfolgt, verbunden mit der daraus resultierenden Gleichstrombewetterung (4).

Nach Lange können durch die abfallende Bewetterung Temperatursenkungen von 4 bis 5°C erreicht werden (4).

Moebius (3) nennt als einen der Vorteile die weitgehende Staubfreiheit des Einziehstromes, ein Umstand, der auch im modernen Steinkohlenbergbau dadurch genutzt wird, dass Wetterkühler in der Kopfstrecke aufgestellt werden, in der bei abfallender Bewetterung der Staubanfall und damit die Verschmutzung der Wetterkühler gering sind.

In den 1950er und 1960er Jahren wurden weitere Versuche mit abfallender Bewetterung unternommen (5)(6).

Dabei waren bei Abwärtsbewetterung die einziehenden Wetter am Strebeingang in der Kopfstrecke in der Größenordnung von 3 bis 5°C kühler (Trockentemperatur) als bei der aufsteigenden Bewetterung am Strebeingang in der Bandstrecke (5)(6).

Die abziehenden Wetter am jeweiligen Strebausgang hatten bei der abfallenden Bewetterung eine um 1 bis 2°C niedrigere Trockentemperatur – zudem bei geringerer relativer Feuchte – als bei aufsteigender Bewetterung. Daraus resultierte eine entsprechend geringere Effektivtemperatur (6).

In der Regel bedingt die Abwärtsbewetterung auch eine Gleichstromförderung (7).

Die beiden, unter dem Gesichtspunkt der Klimabeherrschung günstigen, Effekte addieren sich (7). Die Wetter werden dem Abbaubetrieb über die obere Sohle, mit der entsprechend geringeren Temperatur, zugeführt; in der einziehenden Abbaustrecke und im Streb herrschen günstigere Klimabedingungen, weil die Wärmeabgabe aus der Förderkohle und den Fördermitteln mit dem Abwetterstrom abgeführt wird. Die Effekte für die Effektivtemperaturen gibt Voß (7) mit etwa 3°C am Strebeingang und 1°C am Strebausgang an.

*Unter dem Aspekt des CH<sub>4</sub>-Anfalls sollten elektrische Anlagen und Antriebe so weit wie möglich in die Kopfstrecke verlegt werden.*

*Die Alternative ist der Standort für diese Anlagen in der Bandstrecke, wenn dort als Y-Bewetterung eine Wetterauffrischung durch einen zusätzlichen Einziehstrom erfolgt.*

*Die klimatischen Vorteile der Gleichstrombewetterung sind im wesentlichen:*

- *Weniger Staubanfall an den in der Kopfstrecke aufgestellten Kühlern*
- *Weniger Wärme aus dem Fördergut*
- *Weniger Staub und damit weniger Oxidationswärme.*

### **Literatur:**

(1) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.83 - 97

(2) Hermanns, P.: Die klimatischen und sicherheitlichen Vorzüge und Nachteile der abfallenden Wetterführung, Glückauf 1953, S. 773 - 782

(3) Moebius, P.: Die Abwärtsbewetterung, ein Mittel zur Klimatisierung heißer Betriebspunkte, Bergfreiheit 1953, S. 173 - 177

(4) Lange, F.: Schwierigkeiten des Steinkohlenbergbaus bei zunehmender Teufe, Glückauf 1955, Beiheft, S. 174 - 194

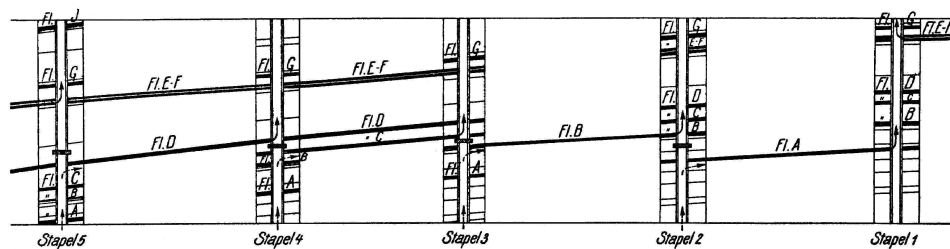
(5) Maercks: Wirkung abfallender Wetterführung auf Wettertemperatur, Grubengasgehalt und Staubbildung, Bergbau 1957, S. 275 - 279

(6) Weindorf, H.: Maßnahmen und Einrichtungen zur Klimatisierung des Abbaus in großer Teufe, Glückauf 1967, S. 72 - 79

(7) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 56 - 57

### 7.1.1.4 Stapelbau

Für Abbauverfahren kann die Bildung möglichst kurzer Bauabteilungen wichtig sein, da die Erwärmung des Wetterstromes im Abbaubereich bereits bei kurzen Wegen sehr stark sein kann. Ein Beispiel für kurze Bauabteilungen ist der Stapelbau auf der Zeche Westfalen, siehe **Bild 1**.



**Bild 1, Stapelbau auf der Zeche Westfalen**

Dieses System wurde bereits mit dem Produktionsbeginn auf dem Bergwerk im Jahr 1913 eingeführt.

Heine (*I*) beschreibt das Verfahren wie folgt: „Um den frischen einfallenden Wetterm möglichst wenig Gelegenheit zur Erwärmung zu geben, hat man auf der Zeche Westfalen ein eigenartiges System eingeführt. Vor dem Felde seiner Tätigkeit teilt sich der Hauptwetterstrom in Teilströme, die nur einen Betrieb bewettern und dann zur Wettersohle abziehen.

Dies wird durch das sogenannte Blindschacht-System erreicht.

Der durchschnittliche Abstand und die flache Bauhöhe zweier Stapel beträgt rund 100 m. Zwischen zwei Stapeln ist immer ein Flöz nur im Abbau begriffen und zwar mittels streichendem Strebbau mit breitem Blick und Versatz durch fremde Berge.

Jeder Aufbruch wird durch eine 2 – 4 m starke wetterdichte Bühne in zwei Hälften geteilt, und zwar dient der obere Teil des Stapels der Bergförderung, während der untere nur zur Kohlenförderung benutzt wird. An Stelle von Lufthaspeln treten hier nur einfache Bremsen, da der volle Wagen, infolge seiner Schwere, imstande ist, den leeren heraufzuholen.

Durch einen Abstand von 300 m zwischen den einzelnen Abteilungsquerschlügen wird für die Förder- und Abbaustrecken nur eine Länge von 150 m geschaffen, die ebenfalls dazu beiträgt, die Länge der Wetterwege auf ein möglichst geringes Maß zu beschränken.

Wie aus dem Wetterriss ersichtlich, sind die Stapel aus den Querschlügen etwas herausgerückt und mit diesen durch Zugangsstrecken verbunden.

Dadurch ist man in der Lage, bei einer eventuellen Schlagwetterexplosion und nachfolgendem Brand den in Frage kommenden Flözteil durch Abdämmen der Zugangsstrecken, bzw. Schließen der Brandtüren, zu isolieren und so ein weiteres Umsichgreifen der Explosion oder eines Brandes zu verhüten.

Zwecks dieser kurzen Wetterwege ist also 1.) ein Erwärmen der Wettermenge vermieden, 2.) den Arbeitspunkten nur frische, noch unverbrauchte Wetter zuzuführen.“

### **Literatur:**

(1) Heine, H.: Die Durchschnittsleistung je Mann und Schicht steht auf der Zeche Westfalen I/II in Ahlen in Westfalen hinter der der Zechen im rheinisch-westfälischen Industriegebiet zurück. Es ist zu untersuchen, ob und in welcher Weise eine Erhöhung der Leistung durch Verbesserung der Wetterführung, Herabsetzung der Temperatur und Einführung weiterer maschineller Hilfsmittel herbeigeführt werden kann, Diplomarbeit etwa 1924, DBM/montan.dok/Bergbau-Archiv Bochum 157/618

### **Bilder:**

**Bild 1** Stapelbau auf der Zeche Westfalen, Glückauf 1914, S. 467

### **7.1.1.5 Versatz**

Die Bedeutung des Versatzes für die Klimabeherrschung ist bereits angesprochen worden.

Die Wechselwirkungen zwischen dem Versatz und dem Grubenklima sind mehrschichtig.

Zunächst ist die Zusammensetzung des Versatzes von Bedeutung. Waschberge enthalten häufig einen hohen Anteil an Kohle und Schwefelkies, die durch Oxidation Wärme erzeugen.

Herbst weist im Jahr 1920 (1) darauf hin, dass Waschberge deshalb nur eingeschränkt verwendet werden sollen. Um diese Zeit wurden häufig Fremdberge als Versatz eingebracht.

Verstärkt wird der Effekt der Oxidation, wenn der Versatz nicht dicht ist, in der Regel bei Handversatz, und daher Wetter bzw. Sauerstoff ausreichend für die Oxidation zur Verfügung stehen. In tiefen Gruben trat das Problem tendenziell nicht so stark auf, weil der Versatz durch den hohen Gebirgsdruck stärker verdichtet wurde als in Gruben mit weniger Überlagerung. Die geringe Verdichtung des Versatzes wird noch durch geringes Einfallen der Lagerstätte und Bänke mit hohen elastischen Qualitäten im Hangenden, zum Beispiel mächtiger Sandstein, unterstützt (1).

Ein nicht dicht genug eingebrachter Versatz führte zu Wetterverlusten und Schleichwetterströmen durch den Alten Mann, denen man am

wirkungsvollsten durch die geeignete Wahl des Zuschnitts begegnen konnte; die in diesem Zusammenhang günstige Wirkung des Rückbaus wurde bereits erwähnt.

Ein dichter Versatz entsteht durch Spülversatz, für den die Lagerstätte aber geneigt sein muss. Dabei kann als Mittel der Klimatisierung zusätzlich dafür gesorgt werden, dass das Spülwasser möglichst kühl ist **(1)**.

Auch Winkhaus misst im Jahr 1922 **(2)** dem Versatz im Zusammenhang mit den Maßnahmen zur Klimabeherrschung auf der Zeche Radbod besondere Bedeutung zu.

Auch er fordert einen möglichst dichten Versatz, weil sonst neben den wertvollen Kälteeinheiten ein großer Teil der Wettergeschwindigkeit und damit auch der Wettermengen verloren geht.

Ein völlig dichter Versatz stellt nach Winkhaus wegen der in ihm eingeschlossenen ruhenden Luftschichten eine gute Streckenisolierung dar. Besonders sorgfältig ist die trockene Bergemauer an den Stößen herzustellen, die neben möglichst großer Luftundurchlässigkeit den Vorteil einer verhältnismäßig glatten, reibungslosen Oberfläche haben soll. Der Zusammenhalt und die Festigkeit der Trockenmauern können durch Lagen von etwa 1 m langem zerrissenem Abfallholz unterstützt werden, vor allem, wenn die Mauer an druckhaften Stellen durch Holzpfeiler gestützt wird **(2)**.

Winkhaus erwähnt in diesem Zusammenhang auch das Torkret - Verfahren, mit dem um diese Zeit erste Versuche zur Verkleidung der Stöße gemacht wurden.

Nach Winkhaus ist eine weitere Voraussetzung, dass der Versatz dem Abbau möglichst dicht folgt, damit auch vor Ort der Wetterstrom zusammen gehalten und eine große Wettergeschwindigkeit erzielt wird.

Die Einführung des Blasversatzes führte unter Klimagesichtspunkten, ähnlich wie vorher schon der Spülversatz, wegen seiner hohen Verdichtung zu sehr guten Ergebnissen. Wie Lange 1955 **(3)** angibt, kann Blasversatz mit großen Mengen gekühlter und getrockneter Druckluft eingebracht werden und übt neben seiner Dichte einen günstigen Einfluss aus.

### **Literatur:**

**(1)** Herbst,F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 489 - 492

**(2)** Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 677 - 683

**(3)** Lange,F.: Schwierigkeiten des Steinkohlenbergbaus bei zunehmender Teufe, Glückauf 1955, Beiheft, S. 174 - 194

## **7.1.2 Kontrolle des Wärmezuflusses**

### **7.1.2.1 Nutzung des Kältemantels im Gebirge**

#### **7.1.2.1.1 Messung und Erforschung der Gebirgswärme und ihrer Wechselwirkung mit den Wettern**

Die Gebirgswärme als Hauptursache für die Wettererwärmung war seit langem bekannt.

Das Phänomen der Beeinflussung der Gebirgswärme durch andere Faktoren als der Teufe wurde schon bei der Auffahrung der Alpentunnel im 19. Jahrhundert beobachtet (1).

Messungen zeigten, dass die geothermische Tiefenstufe bei flacher Lagerung geringer ist als bei stärkerem Einfallen, das heißt die Wärmeabgabe aus dem Gebirge war umso größer je größer das Einfallen war.

Unter Bergen war die geothermische Tiefenstufe mit bis zu 50 m erheblich höher als unter Tälern mit etwa 20 m.

Diese Aussage lässt sich natürlich nicht auf das Ruhrkarbon übertragen, wo die Sättel bei gleicher Teufe die größere Erwärmung und damit geringere geothermische Tiefenstufe als die Mulden aufweisen.

Entscheidend für den Einfluss auf das Grubenklima ist jedoch nicht nur die Gebirgswärme an sich, sondern die Wechselwirkung zwischen den Wettern und dem Gebirge.

Herbst (1)(2)(3)(4) diskutierte 1920 die Frage, welchen Einfluss ein kühler Wetterstrom auf das Gebirge hat, das den Wetterstrom umgibt.

Es war schon deutlich, dass es wegen der großen Wärmemengen, die im Gebirgskörper gespeichert sind, nicht möglich sein würde, den Gebirgskörper insgesamt auszukühlen.

Herbst verweist aber schon darauf, dass sich um den bergmännischen Hohlraum ein Kältemantel bildet, weil die Wärmeleitfähigkeit des Gebirges relativ gering ist und deshalb das Gebirge einerseits Wärme an die Wetter abgibt, andererseits der „Wärmenachschub“ aus dem Gebirge langsamer abläuft.

Diese Erfahrung ist aus der Auffahrung des Gotthard- und des Simplon-Tunnels bekannt und quantifiziert worden.



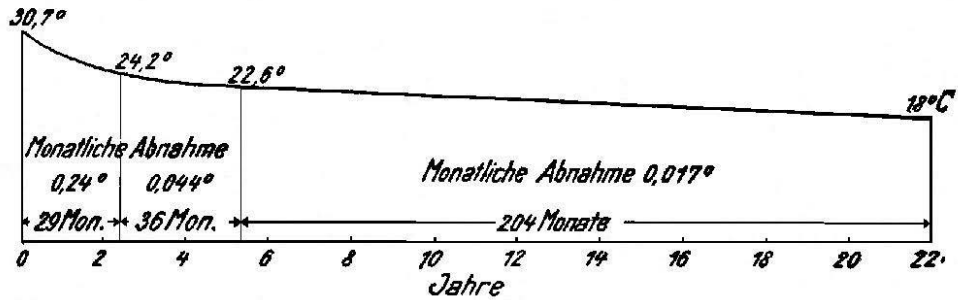


Bild 1, Abnahme der Gesteinswärme an den Stößen im Gotthard-Tunnel

Bild 1 zeigt die Abkühlung der Stöße im Gotthard-Tunnel durch die natürliche Abkühlung. Es dauerte allerdings 22 Jahre (1880 bis 1902), bis die Gesteinstemperatur von 30,7°C auf 18°C gesunken war.

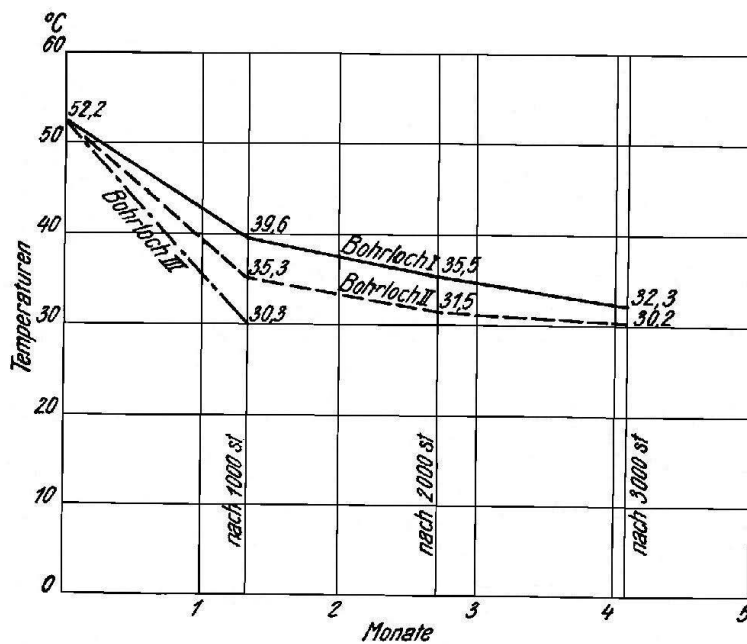


Bild 2, Abnahme der Gesteinswärme im Simplon-Tunnel

Die Abkühlung im Simplon-Tunnel verlief sehr viel schneller, wie Bild 2 zeigt. Es wurden in drei Bohrlöchern von 0,7m Tiefe (Bohrloch III), 1,4m Tiefe (Bohrloch II) und 2,1m Tiefe (Bohrloch I) Temperaturmessungen durchgeführt. Danach war bereits nach vier Monaten die Gesteinstemperatur um rd. 20°C abgesunken. Der Unterschied zum Gotthard-Tunnel lag im größeren Temperaturgefälle zwischen den Wettern und dem Gebirge, weil das Gebirge eine höhere ursprüngliche Temperatur hatte und der Wetterstrom künstlich gekühlt wurde. Der Zusammenhang zwischen der Auskühlung des Gebirges und dem Temperaturgefälle wurde hier schon deutlich.

Die dargestellten Ergebnisse aus dem Simplon-Tunnel wurden empirisch durch Messungen gefunden.

Später wurden mathematische Modelle entwickelt, mit denen sowohl die Wärmeübertragung von der Gesteinsoberfläche auf die Wetter als auch die Wärmeleitung im Gebirge berechnet werden können (16).

Unter anderem Starfield nutzte computergestützte Modelle, bei denen das Gebirge um den bergmännischen Hohlraum herum in einzelne Platten, die als einseitig begrenzte Festkörper (semi-infinite solids) betrachtet werden (16).

Aus der Betrachtung der einzelnen Platten, bei denen modellhaft angenommen wird, dass sie gegeneinander isoliert sind, ergibt sich die Temperaturerhöhung der Wetter, angewendet auf die jeweiligen Feuchtigkeitsbereiche (16).

Voß (17)(18)(19) geht ebenfalls auf die Auskühlung des Gebirges über die Zeit ein.

Ausgangspunkt ist dabei das Fouriersche Gesetz, das in seiner allgemeinen Form lautet:

$$q = \lambda \cdot dt/dn \text{ in kW/m}^2 \text{ [ } \lambda \dots \text{ Wärmeleitfähigkeit in W/ mK].}$$

$$q \dots \text{ Wärmestrom [ kW/m}^2 \text{]}$$

Der Quotient  $dt/dn$  ist die Steilheit des Temperaturgefälles senkrecht zu den Flächen gleicher Temperatur. Der Index  $n$  steht für die Normalrichtung, also senkrecht zu den Isothermen.

Bei einer kreisförmigen Strecke ist das Temperaturgefälle  $dt/dn$  gleich der Änderung der Bohrlochtemperatur in radialer Richtung  $dt/dr$  (19).

Der Quotient  $dt/dn$  ändert sich im Laufe der Zeit durch die Auskühlung der Strecke.

Zuerst ist  $dt/dn$  sehr groß, später klein (19).

Zu einer bestimmten Zeit hat  $dt/dr$  den Wert  $(t_{gu} - t_i) / r_0$

$t_{gu}$ ...ursprüngliche Gebirgstemperatur

$t_i$ .....Temperaturverringerng über die Zeit

$r_0$ .....Radius des Wetterweges.

Daraus ergibt sich  $q = \lambda \cdot (t_{gu} - t_i) / r_0$  in kW/ m<sup>2</sup> (19).

Um den Wärmestrom für eine beliebige Zeit berechnen zu können, wird die Formel verallgemeinert  $q = \lambda \cdot (t_{gu} - t_i) \cdot K(\alpha) / r_0$  in kW/ m<sup>2</sup>.

$K(\alpha)$  ist ein Faktor, der in erster Linie von der Zeit abhängt und Altersbeiwert genannt wird (19).

Das Phänomen des Kältemantels war auch im Ruhrbergbau Anfang des 20. Jahrhunderts bekannt. Heise und Herbst schreiben in ihrem Aufsatz „Zur Frage der Begründung eines sanitären Maximalarbeitstages für Bergwerke“ (5) im

Jahr 1905: „... so haben wir... nur in einzelnen Fällen auch Temperaturen an (nicht in) der Kohle und am Gestein gemessen, welche an Stellen, die vor dem frischen Wetterzug einigermaßen geschützt waren, eine um 1° bis 1,5°C höhere Temperatur als die Luft-Temperatur ergaben. Sicher ist aber jedenfalls, dass die fortwährende Abführung von Wettermengen durch den Wetterzug die Gebirgsstöße unter Tage weit unter die Temperatur abgekühlt hat, die sie nach der geothermischen Tiefenstufe haben müssten.“

Auch Mezger geht in seinem Aufsatz „Der Wetterzug in seiner Bedeutung für die Kühlung der Grubenbaue“ im Jahr 1921 **(6)(7)(8)** unter anderem auf die Frage der Gesteinstemperaturen ein. Die Beziehungen zwischen Gestein und Wetter sind danach wechselseitig. Ist das Gestein das wärmere Medium, erhöht es die Temperatur der Wetter und kühlt selber ab, sind die Wetter das wärmere Medium, tritt die umgekehrte Richtung ein.

Dabei sind die Veränderungen im Gestein sehr gering, wenn man einen kurzen Zeitraum, einige Minuten, betrachtet. In den Wetter sind sie sehr viel größer. Die Ursache liegt in dem großen Unterschied des Wärmeaufnahmevermögens von Luft und Gestein **(6)**. Um 1kg Luft um 1°C zu erwärmen, braucht man 0,238 WE (kcal), um 1 kg Grubengestein zu erwärmen zum Beispiel 0,200 WE. Aus der unterschiedlichen Wichte der Medien (1,293 kg bzw. 2.600 kg je m<sup>3</sup>) ergibt sich für die auf das gleiche Volumen bezogene spezifische Wärme ein Verhältnis von 1: 1.700.

Das bedeutet, dass ein Wetterstrom, der sich bei 10 m<sup>2</sup> Querschnitt auf einer Länge von 100 m, die er in einer Minute durchläuft, um 2°C erwärmt, den umgebenden Gebirgsmantel, der mit 20 m<sup>3</sup> je m Strecke angenommen wird, um 0,00059°C abkühlt. Damit würde es 17 Minuten brauchen, bis das Gebirge sich um 0,01°C abgekühlt hat. Die Veränderungen der Gesteinstemperatur sind somit in kurzen Zeiträumen kaum feststellbar.

Sie können nach Mezger **(8)** aber sehr beträchtlich werden, wenn der Wärmeaustausch über einen längeren Zeitraum abläuft. Er wird dadurch begünstigt, dass ständig neue Wetter für den Wärmeaustausch zur Verfügung stehen und die Wetter, bei denen eine Temperaturangleichung mit den Gesteinstemperaturen stattgefunden hat, sofort weiterströmen.

Wenn die Bewetterung für die Kühlung der Grubenräume optimal genutzt werden soll, muss nach Mezger sowohl die unmittelbare, kühlende, Wirkung der Wetter betrachtet werden, als auch ihre mittelbare Wirkung über die Senkung der Gesteinstemperaturen. Daraus folgt, dass sich die Wetter unter dem ersten Gesichtspunkt auf ihrem Weg in die Abbaue nur wenig erwärmen, sie gleichzeitig aber dem Gebirge auf dem Weg dorthin möglichst viel Wärme entziehen sollen. Diese auf den ersten Blick konträren Forderungen können durch Verstärkung der Wettermengen erfüllt werden oder durch Vorkühlung; darauf wird an anderer Stelle eingegangen. Durch Wärmeschutzmaßnahmen, das heißt Isolierung der Strecken, kann nur die Kühllhaltung der Wetter erreicht werden, die Ausbildung eines Kältemantels wird dadurch verhindert.

Sinnvoll ist der, mit großem Aufwand verbundene, Aufbau eines Kältemantels nur bei Grubenbauen, die länger genutzt werden, z. B. Schächte, Richtstrecken und Querschläge **(8)**.

Für Grubenbaue, die nur eine kurze Lebensdauer haben wie z.B.

Abbaustrecken, ist der gezielte Aufbau eines Kältemantels nicht sinnvoll, hier bietet sich die Wärmeisolierung an, auf die später noch eingegangen wird.

Winkhaus untersuchte die Wetter- und Klimaverhältnisse auf der Zeche Radbod im Jahre 1921 durch planmäßige Messungen (9)(10)(12).

Er geht zunächst der Frage nach, welche Temperaturen die Gebirgsstöbe an den Wetterstrecken haben (10). Die ursprüngliche Gebirgstemperatur errechnet sich aus der geothermischen Tiefenstufe für das Ruhrrevier von etwa 28m, entsprechend der sich das Gebirge um 1°C zur Teufe hin erwärmt.

Ausgangspunkt ist die neutrale Temperaturzone bei etwa 25 m Teufe, in der ständig die Jahresdurchschnittstemperatur von 9°C herrscht.

Daraus ergibt sich für 900 m Teufe eine Gesteinstemperatur von 40,25°C und für 1.000 m Teufe von 43,82°C. Messungen auf Radbod bestätigten diese Werte (siehe auch 3.2).

Auf Grund der oben geschilderten Zusammenhänge geben die Gesteinsstöbe Temperatur an die vorbeistreichenden Wetter ab, kühlen dadurch aus und bilden in Richtung zur Strecke ein Temperaturgefälle gegenüber der ursprünglichen Gebirgstemperatur aus, das an den Stößen am größten ist. In einer im Sandstein stehenden Hauptwetterstrecke, deren umgebendes Gebirge eine ursprüngliche Temperatur von 43°C hatte und mit einer Wettertemperatur von 21,5°C, wurden von Winkhaus Temperaturmessungen im Stoß durchgeführt. Daraus ergaben sich folgende Werte; das Alter der Strecke hat Winkhaus nicht angegeben (10):

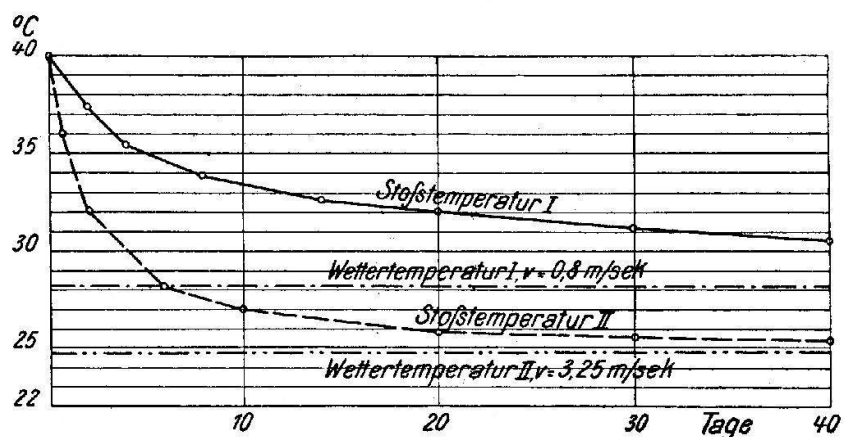
Entfernung vom Stoß [m]	Gesteinstemperatur [°C]
0,1	21,5
1,0	25,3
2,0	28,7
3,0	30,7

Im Stoß des Einziehschachtes, der zu diesem Zeitpunkt bereits mehrere Jahre alt war, erfolgten Messungen in 5 m tiefen Bohrlöchern. Die ursprüngliche Gesteinstemperatur im unverritzten Zustand hatte hier 41°C betragen; die Wettertemperatur war 23°C, jedoch lief 18°C warmes Wasser den Stoß hinab, das den Wärmeaustausch zwischen den Wettern und dem Gebirge überlagerte. Die Messwerte:

Entfernung vom Stoß [m]	Gesteinstemperatur [°C]
1,0	21,0
2,0	24,5
3,0	25,9
4,0	27,0
5,0	28,0

Winkhaus führte auch Temperaturmessungen in der Kohle durch.

In **Bild 3** sind die Ergebnisse für zwei Bohrlöcher im selben Flöz aufgetragen. Die Messungen erfolgten in 0,5 m Tiefe. Die ursprüngliche Temperatur im unverritzten Flöz hatte in beiden Fällen 40°C betragen. Im ersten Fall (Stoßtemperatur 1) kühlte ein Wetterstrom mit 28,2°C und einer Geschwindigkeit von 0,8 m/sec den Kohlenstoß, im zweiten Fall (Stoßtemperatur 2) ein 24,8°C warmer Wetterstrom mit 3,25 m/sec.



**Bild 3, Abkühlung anstehender Kohle bei verschiedenen Wettergeschwindigkeiten**

Die Temperatur im ersten Bohrlochs war nach 40 Tagen auf 30,6°C abgesunken, im zweiten Bohrloch nach der selben Zeit auf 25,4°C. Bei gleichen Ausgangswerten lag der Unterschied in der im zweiten Fall geringeren Wettertemperatur und vor allem sehr viel höheren Wettergeschwindigkeit.

Weitere Messungen in der Kohle zeigten ein sehr starkes Temperaturgefälle in Richtung zur Strecke; ein Bohrloch in einem seit vier Wochen anstehenden Kohlenstoß einer Wetterstrecke wies nach 2 m bereits wieder die ursprüngliche Temperatur der unverritzten Kohle auf (10).

Aus den Messungen leitete Winkhaus ab, dass für die Bildung des Kältemantels die Wärmeleitfähigkeit des Gebirges ausschlaggebend ist. Sie ist im Sandstein am größten und in der Kohle am geringsten.

Weiterhin wird die Wärmeabgabe vom Einfallen bestimmt. Im Simplon-Tunnel ergab sich ein Verhältnis von 1,022 : 1,557, im Gotthard-Tunnel ein Verhältnis von 0,938 : 1,428, je nachdem, ob die Wärmefortpflanzung senkrecht oder parallel zum Einfallen vor sich ging.

Die Stoßabkühlung ist abhängig vom Wärmeübergang zwischen Wetter und Gestein und der Wärmeleitfähigkeit im Gestein selbst, das heißt je geringer die Wärmeleitfähigkeit im Gestein ist, desto langsamer strömt die Wärme aus dem Gebirge nach, und desto schneller kühlt der Stoß aus. Dadurch wird ein Kältemantel ausgebildet mit der Angleichung der Temperaturen in Wetter und Gebirge (10).

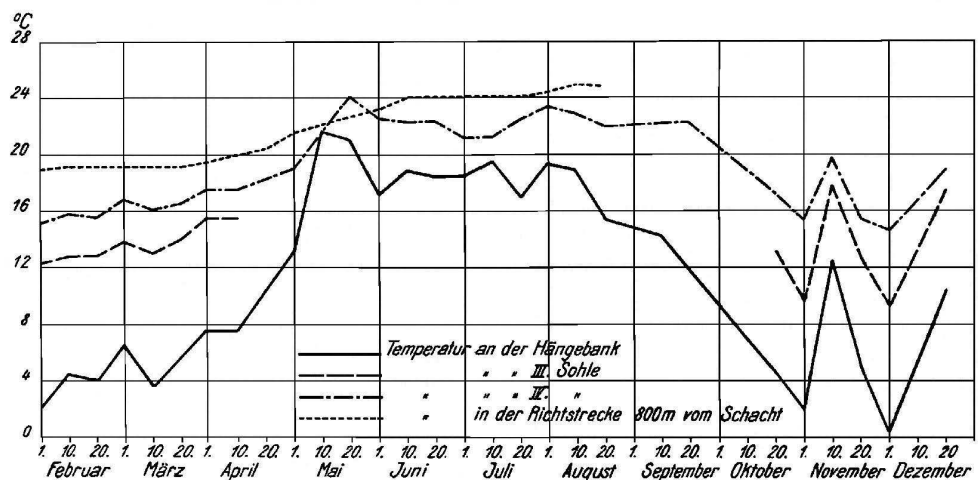
Winkhaus schätzt auf Grund seiner Messergebnisse die Tiefe der Kältemäntel für Sandstein auf 12 bis 14 m, für Schiefer auf 8 bis 10 m und für Kohle auf 3 bis 4 m.

Ist der Kältemantel ausgebildet, haben sich die Temperaturen von Wetter und Gestein weitgehend angeglichen, fließt nach Winkhaus fast keine Wärme mehr in die Wetter, bis auf den kleinen Anteil, der durch die Wärmeleitung im Gebirge ansteht.

Vor allem durch die unterschiedliche Wichte von Gestein und Luft, wie oben in einem Beispiel bereits angeführt, ist das Gestein in der Lage, große Wettermengen zu erwärmen und dabei selbst langsam auszukühlen.

Der ausgebildete Kältemantel ist dadurch aber in der Lage, Temperaturschwankungen der vorbeistreichenden Wetter auszugleichen.

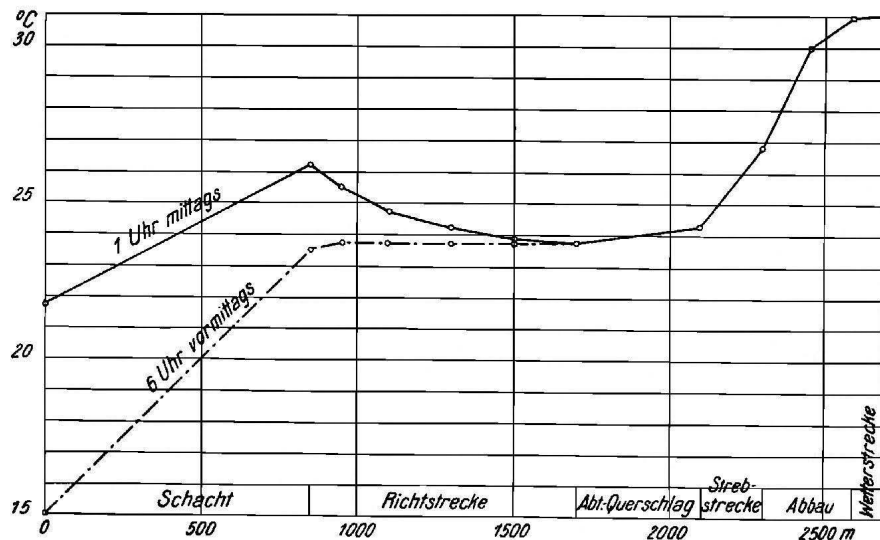
Messungen auf Radbod haben ergeben, dass in den einziehenden Schächten und Hauptwetterstrecken, in denen sich spätestens nach einem halben Jahr ein sehr starker Kältemantel gebildet hat, die Gesteinstemperatur ohne erwähnenswerten Einfluss auf die Erhöhung der Wettertemperatur war. Die Stöße wirken ausgleichend, in 1.000 m Entfernung vom Schacht waren innerhalb eines Jahres kaum noch Schwankungen in den Wettertemperaturen zu messen. **Bild 4** zeigt die auf Radbod gemessenen Werte. Die starken Ausschläge der Tagestemperaturen nivellieren sich je weiter der Wetterweg wird.



**Bild 4, Temperatur des einfallenden Wetterstromes während elf Monaten**

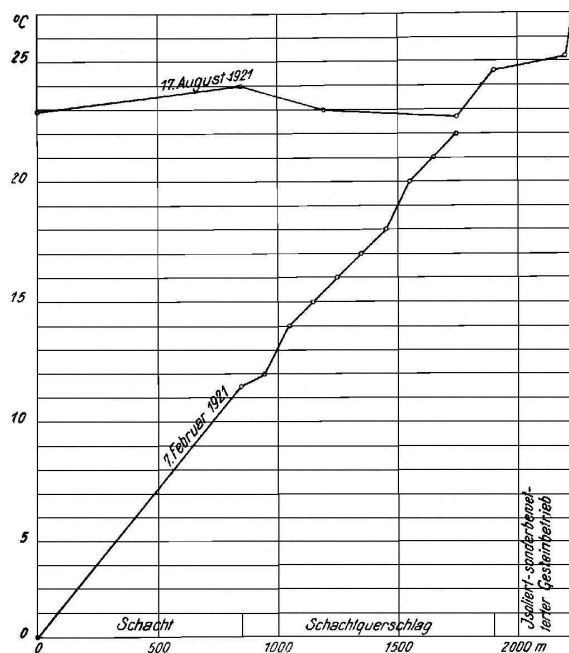
Winkhaus interpretiert die Ergebnisse so, dass die kalten Temperaturen im Winter von den Stößen übernommen werden und im Sommer den warmen Wetter wieder zu Gute kommen – der Effekt, der von Heise und Dreikopf später als Wärmeausgleichsmantel bezeichnet wird.

Die Aussage für die Zeche Radbod wird auch von Winkhaus in den **Bildern 5** und **6** untermauert.



**Bild 5, Temperaturkurven eines Wetterstromes während der tiefsten und höchsten Außenlufttemperatur eines Tages**

In **Bild 5** ist die höchste Außenlufttemperatur mit knapp 22°C um 13.00 Uhr und die niedrigste mit etwa 15°C um 6.00 Uhr aufgetragen. Der ursprüngliche Temperaturunterschied hat sich im Einziehschacht bis zur 4. Sohle bereits auf etwa 2,5°C verringert und ist in der Richtstrecke 800 m vom Schacht entfernt nicht mehr vorhanden. Aus der Abbildung wird deutlich, dass die Wettererwärmung bei den höheren Ausgangstemperaturen im Schacht geringer ist und dass der Kältemantel in der Richtstrecke in der Lage ist, hohe Temperaturen abzusenken.



**Bild 6, Temperaturkurven in der kältesten und wärmsten Jahreszeit**

**Bild 6** zeigt die Verhältnisse in der kältesten (7. Februar) und wärmsten (17. August) Zeit des Jahres 1921 für die Zeche Radbod.

Im Winter erwärmen sich die Wetter stetig und bauen dabei einen Kältemantel um die Wetterwege auf. Im Sommer tritt wieder der Effekt ein, dass die einziehenden Wetter dann entsprechend gekühlt werden. Nach etwa 1.700 m ist die Temperaturangleichung zwischen Winter- und Sommertemperaturen erfolgt.

Der Vollständigkeit halber sei auf den geringen Temperaturanstieg nach etwa 1.900 m hingewiesen. Dieser ist nicht das Ergebnis eines ausgebildeten Kältemantels, sondern entsteht, weil die Gesteinsstrecke, in die die Wetter geleitet werden, auf ihrem ersten Stück isoliert ist. Da es sich um einen sonderbewetterten Betrieb handelt, würde sich hier ohnehin kein stabiler Kältemantel ausbilden. Die Frage der Streckenisolierung wird später noch erörtert.

Ergebnisse mit gleicher Tendenz zeigten sich bei Messungen in dem mit 1035 m Teufe damals tiefsten Schacht im Ruhrrevier auf der Zeche Westfalen, über die Herbst im Jahr 1920 berichtet (2).

In den Jahren 1914 bis 1919 waren die Temperaturen an der Hängebank und 50 m vom Füllort auf der 1035 m-Sohle nach Herbst (2) wie folgt gemessen worden (geordnet nach der Temperaturzunahme):

Lfd. Nr.	Monat	Temperaturen auf der Hängebank [°C]	Temperaturen 50 m vom Füllort der 1035 m-Sohle [°C]	Temperaturzunahme [°C]
1	Juli 1914	26,0	29,0	3,0
2	April 1914	19,5	23,5	4,0
3	Juli 1919	22,0	26,0	4,0
4	Oktober 1919	16,0	22,0	6,0
5	April 1915	11,0	17,5	6,5
6	April 1917	8,5	16,5	8,0
7	Juli 1915	19,0	28,5	9,5
8	April 1916	8,0	17,5	9,5
9	Juli 1918	15,0	25,0	10,0
10	Januar 1919	8,0	18,0	10,0
11	Juli 1916	13,5	25,0	11,5
12	Januar 1917	7,0	18,5	11,5
13	Januar 1914	1,5	15,0	13,5
14	Oktober 1918	6,0	19,5	13,5
15	Juli 1917	14,0	28,0	14,0

Es zeigte sich, wie auch bei den Untersuchungen auf der Zeche Radbod, dass sich die Wetter an warmen Tagen schwächer und an kalten Tagen stärker erwärmten als es dem Poissonschen Gesetz entspricht, nach dem auf Grund der



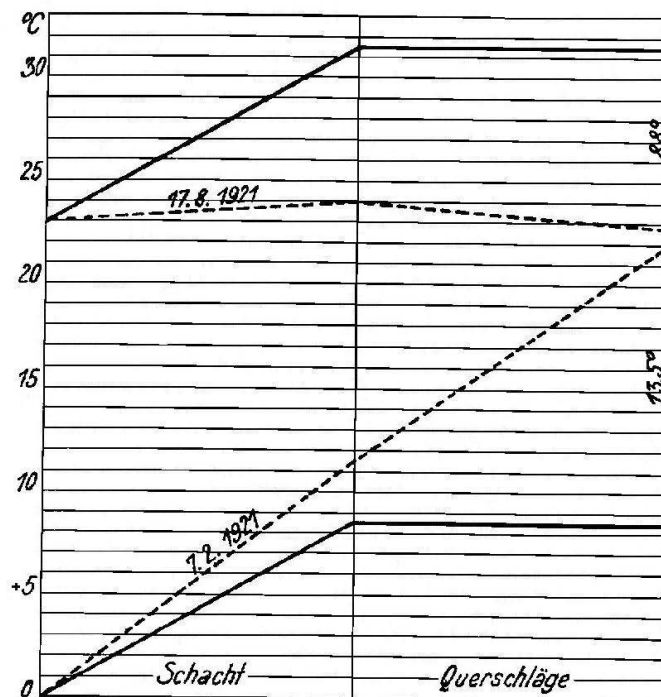
Selbstverdichtung der Wetter bei rund 1000 m Schachtteufe eine Erwärmung von etwa 10°C zu erwarten gewesen wäre.

### 7.1.2.1.2 Aufbau und Nutzung des Kältemantels

Die Untersuchungen, die Winkhaus im Jahre 1921 auf der Zeche Radbod anstellte, bildeten die wesentliche Grundlage für die Erforschung des Phänomens des Kältemantels.

Heise und Drekopf (*II*) sind im Jahr 1923 auf das Phänomen eingegangen, dass die Wetter im Sommer Wärme an das Gebirge abgeben und im Winter Wärme aus dem Gebirge aufnehmen und führen den Begriff des „Wärmeausgleichsmantels“ ein: „Derjenige Teil des Gebirges nun, der infolge seiner Lage um den einziehenden Wetterweg die regelmäßigen Schwankungen des Wetterstromes mitmacht und so bald erwärmt, bald abgekühlt wird, kann als Wärmeausgleichsmantel bezeichnet werden, weil er rückwirkend auf die Temperatur des Wetterstromes bald abkühlend, bald erwärmend einwirkt und so einen ausgleichenden Einfluss ausübt.“

Noch deutlicher machen Heise und Drekopf (*II*) die Wirkung des Ausgleichsmantels mit dem **Bild 7**, das auf der Basis der Messungen von Winkhaus erstellt wurde.



**Bild 7, Tatsächliche und rechnermäßige Temperaturen des Einziehstromes zu verschiedenen Jahreszeiten**

Am 7. Februar 1921 herrschte eine Außentemperatur von 0°C; daraus hätte sich ohne Einfluss des Ausgleichsmantels eine Temperatur im Füllort bei rund 850 m Teufe von etwa 8,5°C ergeben. Tatsächlich ergaben die Messungen von Winkhaus eine stetige Steigerung der Wettertemperatur bis zum Ende des Ausgleichsmantels auf 22°C mit gleichzeitigem Aufbau des Kältemantels im Gebirge.

Am 17. August 1921 stellte Winkhaus Messungen bei einer Außentemperatur von 23°C an. Der Ausgleichsmantel wirkte so, dass die Wetter im Schacht nur um etwa 1°C erwärmt und anschließend sogar knapp unter die Ansaugtemperatur gekühlt wurden. Im Bereich des Füllorts ist ein Temperaturknick zu erkennen, der in den Sommermonaten im Bereich des Füllorts bleibt, dann feldwärts wandert und im Winter ganz verschwindet (11).

Winkhaus geht in seinem Aufsatz „Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben“ aus dem Jahr 1922 (12) auf die Nutzung des Kältemantels für die Vergleichmäßigung der Wettertemperaturen, und hier im wesentlichen der Kappung der Temperaturspitzen, ein.

Er empfiehlt, den Wetterstrom nicht daran zu hindern, sich selbst während der kühleren Zeiten einen Kältemantel um die Strecken aufzubauen.

In der ersten Zeit erwärmt sich zwar der Wetterstrom, später konnte aber der im Winter aufgebaute Kältemantel in den warmen Monaten, bis in den Herbst hinein, wie Messungen auf der Zeche Radbod im September zeigten, die Wetter auf natürliche Weise abkühlen.

Die Erwärmung des kalten Einziehstromes im Winter wurde nicht als störend empfunden.

Heise und Drekopf geben in ihrem Aufsatz „Der Wärmeausgleichsmantel und seine Bedeutung für die Kühllhaltung tiefer Gruben“ aus dem Jahr 1923 (13) Anregungen, wie die Wirksamkeit des Wärmeausgleichsmantels oder Kältemantels noch verstärkt werden kann.

Sie schlagen zunächst vor, in der kälteren Jahreszeit die Wettermenge zu erhöhen, allerdings nicht für die gesamte Grube, sondern nur für den Teil des Grubengebäudes, der an der Bildung des Kältemantels beteiligt ist.

Das soll über eine Kurzschlussverbindung zwischen dem Einzieh- und Ausziehschacht erfolgen.

Die Kurzschlussvorrichtung soll hinter dem Ende des Ausgleichsmantels über Wettertüren je nach Ansaugtemperatur gesteuert werden.

Die zusätzlich erforderlichen Wettermengen könnten über den zweiten Ventilator am Ausziehschacht erbracht werden, wenn dieser mit dem Hauptventilator zusammen arbeitet (13).

Ein zweiter Vorschlag von Heise und Drekopf geht dahin, die Schachtwandung im Einziehschacht mit Kühlflüssigkeit zu kühlen, über Bohrlöcher, die vom Schacht oder vom Tage aus erstellt werden. Als Kühlflüssigkeit soll in den kühlen Monaten Flusswasser dienen, das dann ebenfalls kühl ist. Der Kältemantel soll dann in den warmen Monaten genutzt werden können.

Aus wettertechnischer Sicht wäre das Verfahren sinnvoll, weil der natürliche Wetterzug unterstützt würde.

1924 ergänzen Heise und Drekopf (14) ihre Anregungen um den Vorschlag, in Zeiten der Betriebsruhe, also nachts und sonntags, im Bereich des Wärmeausgleichsmantels durch Wasserverdunstung ausgiebig zu kühlen, ohne dass die nur zeitweilige Steigerung des Sättigungsgrades der Belegschaft lästig wird.

Die 8 Stunden in der Nacht und die 24 Stunden sonntags stellen immerhin eine Betriebsruhe von 43% dar, während sich die Hauptbelegschaft nur während 57% der Zeit in der Grube befindet.

Während der Betriebsruhe kann ohne Rücksicht auf die Steigerung des Sättigungsgrades gekühlt werden.

Es ist dem Wetterstrom jedoch nicht mehr Feuchtigkeit zuzuführen als er aufnimmt, so dass nach Abstellung der Berieselungsvorrichtung vor der Morgenschicht wieder ein trockener Wetterstrom durch die Grube zieht. Diese Art der Kühlung hat den Vorteil, dass sie in ihrer Wirkung nur für die 16 Stunden der Betriebszeit vorhalten muss; auch im heißen Sommer ist die Nachtkühlung durchaus sinnvoll (14).

Heise und Drekopf und Wintermeyer (15) gehen auch auf die sogenannte Winterkühlung ein. Hier wird ausgenutzt, dass in den Wintermonaten eine große Kältemenge zum Aufbau eines Kältemantels zur Verfügung steht. Im Winter werden daher große Wettermengen durch die Einziehstrecken geschickt.

Das Gebirge speichert während der acht bis neun Monate im Jahr, während denen die Winterkühlung durchgeführt werden kann, große Kältemengen, die in den heißesten drei bis vier Monaten genutzt werden können.

Die Erwärmung der Wetter in den kalten Monaten wird als nicht störend empfunden.

Zur Speicherung der Kälte eignet sich besonders der einziehende Schacht. Bei ausschließlicher Betrachtung unter diesem Gesichtspunkt wäre es sinnvoll, statt eines weiten einziehenden Schachtes mehrere enge zu wählen, da dann mehr Volumen für den Aufbau der Ausgleichsmäntel zur Verfügung steht. Das gleiche gilt, wenn mehrere Schächte vorhanden sind, für die Nutzung als Einzieh- und Ausziehschächte.

Unter dem Gesichtspunkt einer bestmöglichen Nutzung des Ausgleichsmantels sollte der weiteste Schacht ausziehend sein und die übrigen, engeren Schächte einziehend.

### **7.1.2.1.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

*Bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts war deutlich, dass die Gebirgswärme zwar eine maßgebliche Einflussgröße für das Grubenklima ist, dass ihre Wirkung aber nur durch ihre Wechselwirkung mit den Wettern zu verstehen war. Als Einflussparameter wurden das Temperaturgefälle zwischen dem Gebirge und den Wettern, die Wärmeleitfähigkeit als Materialgröße des anstehenden Gesteins, sowie der Umfang und die Länge der Kontaktfläche oder Heizfläche zwischen Gebirge und Wettern erkannt.*

*Die Messungen und Untersuchungen, vor allem in den tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers schufen die Grundlagen, die heute noch gültig sind.*

*Es wurden Maßnahmen abgeleitet, die darauf zielten, den Wärmeübergang aus dem Gebirge in die Wetter zu beherrschen.*

*Dazu zählten Maßnahmen, die das Temperaturgefälle an der Kontaktfläche vom Gebirge in die Wetter möglichst gering halten sollten. Das gelang durch die aktive Ausbildung eines Kältemantels, das heißt die gezielte Abkühlung des Gebirges mit Hilfe von Maßnahmen der Wetterführung. Für langlebige Grubenbaue auf der Einziehseite waren daher Maßnahmen zur Ausbildung eines Kältemantels sinnvoll, unmittelbar vor dem Abbau in kurzlebigen Strecken die Isolierung, auf die später noch eingegangen wird.*

### **Literatur:**

- (1) Herbst,F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 409 - 417
- (2) Herbst,F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 429 - 436
- (3) Herbst,F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 449 - 457
- (4) Herbst,F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 489 - 492
- (5) Heise,F. und F. Herbst: Zur Frage der Begründung eines sanitären Maximalarbeitstages für Bergwerke, Glückauf 1905, S. 596 - 601
- (6) Mezger,C.: Der Wetterzug in seiner Bedeutung für die Kühlung der Grubenbaue, Glückauf 1921, S. 455 - 463
- (7) Mezger,C.: Der Wetterzug in seiner Bedeutung für die Kühlung der Grubenbaue, Glückauf 1921, S. 488 - 492
- (8) Mezger,C.: Der Wetterzug in seiner Bedeutung für die Kühlung der Grubenbaue, Glückauf 1921, S. 536 - 540
- (9) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 613 - 616
- (10) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 645 - 653
- (11) Heise,F. und K.Drekopf: Der Wärmeausgleichsmantel und seine Bedeutung für die Kühlung tiefer Gruben, Glückauf 1923, S. 81 - 88
- (12) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 677 - 683
- (13) Heise,F. und K.Drekopf: Der Wärmeausgleichsmantel und seine Bedeutung für die Kühlung tiefer Gruben, Glückauf 1923, S. 109 - 113
- (14) Heise,F. und K. Drekopf: Die Bildung der Grubentemperaturen und die Möglichkeiten der Beeinflussung, Glückauf 1924, S. 583 - 590
- (15) Wintermeyer,F.: Der Kampf mit den hohen Temperaturen in tiefen Schächten, Der Bergbau 1926, S. 49 - 52

- (16) Hemp,R.: Sources of Heat in Mines, Environmental Engineering in South African Mines, The Mine Ventilation Society of South Africa 1989, S. 569 - 612
- (17) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen,1981, S. 68
- (18) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen,1981, S. 101
- (19) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen,1981, S. 177 - 178

### **Bilder:**

**Bild 1** Abnahme der Gesteinswärme an den Stößen im Gotthard-Tunnel, Herbst: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 415

**Bild 2** Abnahme der Gesteinswärme im Simplon-Tunnel, Herbst: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 415

**Bild 3** Abkühlung anstehender Kohle bei verschiedenen Wettergeschwindigkeiten, Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 647

**Bild 4** Temperatur des einfallenden Wetterstromes während elf Monaten, Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 648

**Bild 5** Temperaturkurven eines Wetterstromes während der tiefsten und höchsten Außenlufttemperatur eines Tages, Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 648

**Bild 6** Temperaturkurven in der kältesten und wärmsten Jahreszeit, Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 649

**Bild 7** Tatsächliche und rechnermäßige Temperaturen des Einziehstromes zu verschiedenen Jahreszeiten, Heise,F. und K.Drekopf: Der Wärmeausgleichsmantel und seine Bedeutung für die Kühlhaltung tiefer Gruben, Glückauf 1923, S. 82

### **7.1.2.2 Abdichtung und Isolierung von Grubenbauen**

Durch die Verringerung der Querschnitte im Abbaubereich wurde in den 1920er Jahren nach Jansen **(1)(2)(3)** die Kontakt- und damit Heizfläche zwischen Gebirge und den Wettern verringert ( siehe auch **Punkt 7.1.1.2**).

Der Wetterwiderstand in den Strecken, der durch die Querschnittsverringering weiter gewachsen war, ließ sich durch Glätten der Streckenstöße wieder herabsetzen.

Deshalb wurden auf der Zeche Sachsen die in Türstockzimmerung stehenden Ein- und Ausziehstrecken der ersten und zweiten Sohle mit Brettern verschalt (3). Dadurch ging der Reibungsbeiwert der Strecken auf etwa 20% des Wertes von Türstockstrecken zurück. Dabei hatte die Wettermenge bei gleichem Energieverbrauch um etwa 25% zugenommen.

Die Verschalung der Strecken war natürlich auch der Ansatz für die Streckenisolierung.

Bei der Entwicklung der Streckenisolierung waren es die tiefen Gruben im östlichen Ruhrrevier, die wichtige Pionierarbeit leisteten.

Andre, Werksleiter der Zeche Radbod, berichtet 1922 (4) von einem Versuch auf der Zeche Radbod, die Streckenstöße zu isolieren, und zwar in einer in steilstehendem Sandstein aufgefahrenen Richtstrecke.

Andre sieht die Anwendung des Verfahrens – abgesehen von der Frage, ob sich besser ein Ausgleichsmantel in einer nicht isolierten Strecke bilden soll – nur in standfesten Strecken, weil Gebirgsbewegungen die Isolierung zerstören würden.

Eine Isolierung der Schachtwandung hält Andre ebenfalls nicht für sinnvoll, da die Schachtstöße ständig beobachtet werden müssen.

Winkhaus (5) geht auch auf den Versuch in der isolierten Richtstrecke der Zeche Radbod ein.

Der an sich schon gut leitende dichte Sandstein führte, da er zudem in dem Bereich noch steil gelagert ist, große Wärmemengen der Strecke zu.

Da die Richtstrecke wegen der Lokomotivförderung mit großem Querschnitt aufgefahren war, trat in ihr eine starke Erwärmung der 600 m<sup>3</sup>/min Wetter ein. Die Wettertemperatur betrug beim Eintritt in die Richtstrecke 23°C und wurde vor der Isolierung auf 240 m Länge um 6°C auf dann 29°C erhöht, mit der die Wetter in den Abbau eintraten.

Im Abbau stieg die Wettertemperatur dann auf bis zu 36°C (5).

Die Richtstrecke wurde isoliert, indem man die Firste und Stöße mit beschnittenen Brettern von innen verschlug (Bild 1) und den Zwischenraum zwischen den Brettern und dem Verzug mit einer gegen Wärme gut isolierenden Masse – Sägemehl und Schlackenwolle – ausfüllte.

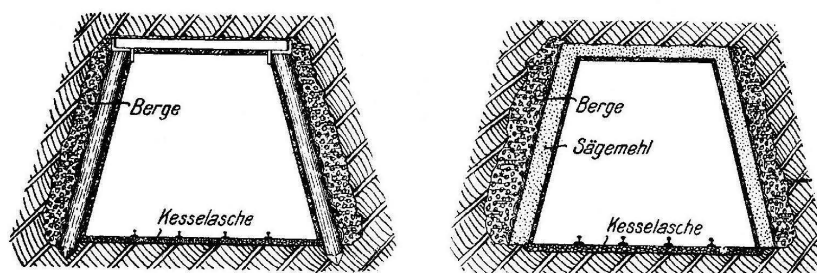


Bild 1, Isolierte Strecke

Nach Fertigstellung der Isolierung erreichten die Wetter mit 24°C den Abteilungsquerschlag; die Wärmezunahme war von 6°C auf 1°C zurückgegangen.

Die Temperatur am Ende der Abbaubetriebe sank auf weniger als 29°C, so dass für einen großen Teil der Streben die Schichtzeit nicht mehr verkürzt werden musste (5).

Der Aufwand für die Maßnahme war relativ gering; weitere Betriebskosten fielen nach dem Einbringen der Isolierung nicht mehr an.

Als erwünschter Nebeneffekt sank durch das Auskleiden der Reibungsbeiwert in der Richtstrecke, dadurch stieg die Wettergeschwindigkeit an (5).

Winkhaus weist darauf hin (6), dass das Isolieren der Hauptwetterwege – damit ist besonders natürlich auch der Einziehschacht gemeint - der falsche Weg ist, weil der Aufbau eines Wärmeausgleichsmantels bzw. Kältemantels dadurch weitgehend verhindert wird.

Wintermeyer berichtet im Jahr 1926 (7) von einem Vorschlag, der die Speicherwirkung eines Ausgleichsmantels mit der Isolierung des Grubenausbaus kombiniert: “Demzufolge handelt es sich um einen Grubenausbau, durch welchen außer der Kühllhaltung des Grubenausbaus bzw. Kühlung des Wetterstromes die Wirkungen des Gebirgsdruckes auf den Grubenausbau ausgeglichen werden.

Zu diesem Zweck wird die Innenwandung der Strecken, Querschläge usw. aus einem besonders gut wärmeaufnahmefähigen Material, z.B. Kupferschlacke, hergestellt und gegen das Gebirge isoliert. Diese innere Schicht des Ausbaus nimmt dann, besonders während der heißen Tageszeit und während der heißen Sommertage, die Wärme des hindurchgeführten Wetterstromes in sich auf und bildet einen Wärmeakkumulator, der die Wärme in den Nachtstunden, wenn der Wetterstrom kühler ist, wieder an denselben abgibt.

Auf diese Weise wird ein Temperatúrausgleich in der Grube geschaffen. Als äußere Isolierschicht des Grubenausbaus wird ferner ein verhältnismäßig weiches und nachgiebiges Baumaterial benutzt, das gleichzeitig wärmeisolierend wirkt. Diese äußere Schicht ist gegenüber starken Gebirgsdrücken nachgiebig, so dass die äußere Schicht sich auf die harte Innenwandung auflegt und etwaige Fugen derselben ausfüllt und somit der Grubenausbau selbsttätig dem Gebirgsdruck anpasst.“

Neben der Zeche Radbod wurden auch auf der Zeche Sachsen Versuche angestellt und Maßnahmen eingeleitet, bei denen durch Isolierung der Strecken die Wärmeabgabe aus dem Gebirge in die Wetter verringert werden sollte, wie Jansen 1927 berichtet (3).

Die Wärmeabgabe kann dabei, entsprechend dem Verhältnis der Wärmeleitfähigkeiten  $\lambda$  [W/mK] des Isolierstoffes und des Gebirges, auf einen Bruchteil herabgesetzt werden.

Bei dem oben geschilderten Versuch auf Radbod war die Wärmeabgabe auf 1/6 gesunken.

Praktische Versuche auf der Zeche Sachsen, über die Hencky (8) berichtete, wurden in einem 50 m langen, in Schiefer und Kohle stehenden, Stück des 2. westlichen Abteilungsquerschlag auf der 950 m-Sohle durchgeführt. Durch das Einbringen von Hochofenschlackschlacke als Isolierstoff, die wegen des starken Gebirgsdruckes hinter ein 50 cm dickes Ziegelmauerwerk gestampft wurde, sank die Wärmeabgabe auf 1/3.

Obwohl sowohl bei den Versuchen auf der Zeche Radbod als auch auf der Zeche Sachsen die Wärmeabgabe stark verringert werden konnte, ist es zunächst bei den Versuchen geblieben.

Dies erklärt sich daraus, dass der anfänglich große Vorteil der Isolierung in Hauptwetterwegen nach 1 – 2 Jahren wegen der schnellen Abkühlung des Gebirges kaum noch eine Rolle spielt.

Außerdem werden durch die Isolierung, wie bereits angesprochen, die speichernde Wirkung des Gebirges und die Ausbildung eines Ausgleichsmantel behindert.

Der Nutzen einer Isolierung ist dort am größten, wo der Einfluss der Gebirgswärme am stärksten ist, also im Abbau (3). Da die Grubenbaue dort aber auch der ständigen Veränderung unterworfen sind, ist dort die Einbringung einer Isolierung nicht sinnvoll.

Das Thema der Isolierung von Strecken wurde in den Folgejahren offensichtlich nicht weiter verfolgt, wie dem Aufsatz von Fritzsche aus dem Jahr 1940 (9) zu entnehmen ist.

## **Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

*Die Messungen und Untersuchungen, vor allem in den tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers schufen die Grundlagen, die heute noch gültig sind.*

*Es wurden Maßnahmen abgeleitet, die darauf zielten, den Wärmeübergang aus dem Gebirge in die Wetter zu beherrschen.*

*Dazu zählten Maßnahmen, die das Temperaturgefälle an der Kontaktfläche vom Gebirge in die Wetter möglichst gering halten sollten. Das gelang durch die aktive Ausbildung eines Kältemantels, das heißt die gezielte Abkühlung des Gebirges mit Hilfe von Maßnahmen der Wetterführung, oder durch die Isolierung von Grubenbauen. Beide Maßnahmen standen in Konkurrenz zueinander, weil die Isolierung von Strecken zwar sofort wirkte, die Ausbildung eines Kältemantels aber verhinderte. Für langlebige Grubenbaue auf der Einziehseite waren daher Maßnahmen zur Ausbildung eines Kältemantels sinnvoll, unmittelbar vor dem Abbau in kurzlebigen Strecken die Isolierung.*



## **Literatur:**

- (1) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.1 - 12
- (2) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.51 - 58
- (3) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.83 - 97
- (4) Andre,W.: Betriebserschwerisse in tiefen Gruben, Glückauf 1922, S. 97 - 102
- (5) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 645 - 653
- (6) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 677 - 683
- (7) Wintermeyer,F.: Der Kampf mit den hohen Temperaturen in tiefen Schächten, Der Bergbau 1926, S. 49 - 52
- (8) Schulte,F.: Praktisch wichtige Forschungsergebnisse über den Wärmeschutz, Glückauf 1923, S. 1126 - 1128
- (9) Fritzsche,H.: Heutiger Stand und Zukunftsmöglichkeiten der Wetterkühlung in heißen Gruben, Glückauf 1940, S. 149 – 157

## **Bilder:**

**Bild 1** Isolierte Strecke, Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 652

### **7.1.2.3 Isolierung von Lutten**

Während bei der Streckenisolierung der Übergang der Wärme vom Gebirge in die Wetter verhindert werden soll, ist der Sinn einer Luttenisolierung, den Wärmeübergang in die Wetter zu verhindern, die die Lutten durchströmen.

Auf die Bedeutung, die die Bereitstellung großer und kühler Wettermengen auch in den tiefen, warmen Gruben im östlichen Ruhrrevier genoss, ist bereits eingegangen worden.

Das galt natürlich auch in besonderem Maße für die sonderbewetterten Aus- und Vorrichtungsbetriebe.

Winkhaus (1) schildert 1922 die Verhältnisse, die vor dem Einleiten von Maßnahmen herrschten.

Die Wetterströme wurden mit Temperaturen von 24 bis 26°C zu den Punkten geführt, an denen die Sonderbewetterung mit Lutten und kleinen Ventilatoren einsetzte.

Die Lutten, durch die 30 – 60 m<sup>3</sup>/min Wetter geblasen wurden, hatten 750 mm lichte Weite.

Die Erwärmung der Wetter in den Lutten betrug je nach Temperaturgefälle zu den fast mit Gebirgstemperatur anstehenden Stößen bis zu 4°C auf 100 m, so dass die Wetter bereits mit 30 – 37°C aus der Lutte austraten.

Vor Ort war der Wetterstrom nicht mehr in der Lage, eine Kühlwirkung zu entfalten.

Die ersten Versuche zur Verbesserung der klimatischen Verhältnisse der Sonderbewetterung wurden in einem Schachtquerschlag durchgeführt, dessen letzte 300 m sonderbewettert wurden.

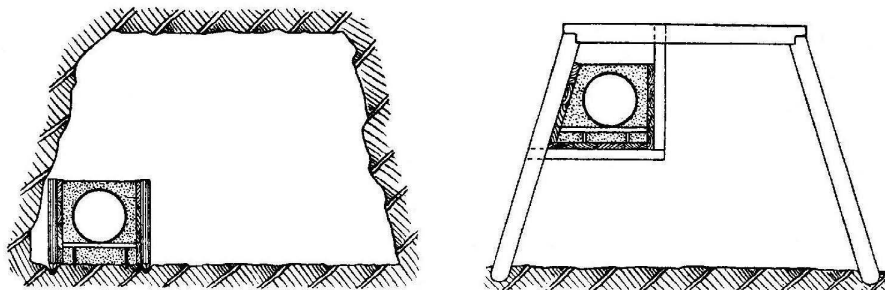
Vor Beginn der Versuche brachte ein Turboventilator, der Frischwetter mit 22°C ansaugte, 35m<sup>3</sup>/min nach vor Ort, die er dort mit 31°C ausblies. Die Erwärmung auf 300 m betrug somit 9°C. Vor Ort herrschte eine Wettertemperatur von 34°C bei 39°C Gesteinstemperatur (1).

Andre (2) und Winkhaus (1) berichten im Jahr 1922 über das Verfahren auf der Zeche Radbod, das von dem dortigen Betriebsinspektor Berg entwickelt worden war und mit großem Erfolg angewandt wurde.

Berg hatte zunächst versucht, den Einfluss der Gesteinswärme auf die Luttenwetter zu verringern, indem er die Metalllutten, die Wärme sehr gut leiten, durch Papplutten mit 10 mm Wandstärke ersetzte.

Der dadurch erzielte Temperaturgewinn war aber nur 0,5°C auf 100 m. Außerdem litten die Papplutten im betrieblichen Einsatz darunter, dass sie Feuchtigkeit aufnahmen und die Pappe dadurch brüchig und wärmeleitend wurde (3).

Um bessere Ergebnisse zu erzielen, umgab Berg einen neuen Luttenstrang von nur 500 mm lichter Weite mit einer etwa 10 cm dicken Sägemehlschicht (Bild 1).



**Bild 1, Isolierte Wetterlutten**

Der Turboventilator, der schon zu Versuchsbeginn im Einsatz war, brachte jetzt durch die gute Abdichtung 45 m<sup>3</sup>/min in das Ort (1).

Die Wärmemessungen zeigten eine Temperaturzunahme von nur noch 1°C auf 300 m Luttenlänge. Dadurch sank die Wettertemperatur vor Ort von 34°C auf 27°C.

Durch diesen unerwarteten Erfolg wurde die Luttenisolierung in allen Aus- und Vorrichtungsbetrieben durchgeführt.

Als Folge wurden von den Gesteinshauern bei gleicher Belegung statt vorher 18 m dann 23 m pro Monat aufgefahren (1).

Auf der Zeche Westfalen wurde das Radbod- Verfahren übernommen.

Dort gelang es in einem Aufbruch, der wegen einer Wettertemperatur von 46°C vor Ort gestundet werden sollte, die Wettertemperatur auf 27 1/2°C herabzusetzen, nachdem die 450 m lange Luttenleitung isoliert worden war. Das Schlottergebläse brachte 150 m<sup>3</sup>/min durch die Lutte mit 600 mm lichter Weite.

Die Wetter wurden mit 25°C angesaugt und verließen die Lutte mit 26°C, auf der Luttenlänge somit eine Erwärmung um lediglich 1°C (1).

Anfang der 1920er Jahre wurden auf der Zeche Radbod Lutten mit doppelten Wandungen erprobt, bei denen die Luftschicht zwischen den Rohren als Isolierschicht diente. Ihr Vorteil gegenüber den in Sägemehl verlegten Lutten war, dass sie sich schneller einbauen ließen, weniger Raum beanspruchten und mehrfach benutzt werden konnten ohne die aufwändige Verlegung in Sägemehl (1).

Das Verfahren setzte sich aber wegen des hohen Gewichtes der Lutten und der Starrheit des Systems nicht durch (3).

Auf der Zeche Sachsen wurden Anfang der 1920er Jahre durch Hencky (4) ebenfalls Versuche mit nicht isolierten und isolierten Lutten unternommen.

Dabei erwärmten sich die Wetter in einer ungeschützten Lutte von 24°C Ansaugtemperatur auf 29,2°C am Ende der Lutte. In der isolierten Lutte erwärmten sich die Wetter bei gleichen Bedingungen nur auf 24,7°C Die Wettertemperatur vor Ort verminderte sich von 30°C auf 26°C.

Im ersten Fall, ohne Isolierung, erwärmten sich die angesaugten Wetter bis in das Ort um 6°C, im zweiten nur um 2°C, was gleichzeitig bedeutete, dass die Grenztemperatur von 28°C für verkürzte Schichten unterschritten werden konnte (4).

Auf der Zeche Sachsen hatte es sich im Laufe der 1920er Jahre bereits allgemein eingebürgert, in den Vorrichtungsbetrieben mit ihren geringen Wettermengen und ungekühlten Stößen Wetterlutten mit einer Umhüllung aus Sägemehl zu versehen, wie Jansen (5) berichtet.

Durch diese Isolierung wurde nach langjährigen Erfahrungen auf der Zeche Sachsen die Wettertemperaturerhöhung in den Lutten durchschnittlich auf 1/10 herabgedrückt.

Jansen berichtet, dass in einer rund 200 m langen, sehr undichten Lutte ohne Wärmeschutz die Erwärmung, die 10°C betragen hatte, durch die Isolierung

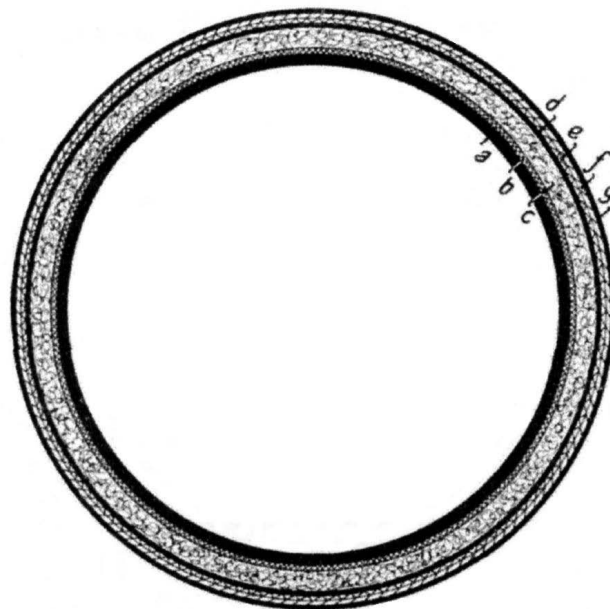
auf 1°C gesenkt werden konnte. Die Wettertemperatur vor Ort sank dadurch von 34°C auf 25°C, und die Kühlstärke der Wetter hätte dadurch um 5 KS zunehmen müssen.

Nach den tatsächlichen Messungen hatte die Kühlstärke aber von 9 auf 16 KS zugenommen, war also um 7 KS gestiegen.

Diese um 2 KS höhere Zunahme erklärt sich aus der durch die Isolierung mit Sägemehl höhere Dichtigkeit der Lutte.

Während vorher ein großer Teil der Wetter aus den undichten Luttenverbindungen entwichen war, brachte der Ventilator durch die isolierte und damit auch dichte Lutte fast die gesamte angesaugte Wettermenge auch tatsächlich vor Ort, wodurch die Wettergeschwindigkeit von 0,2 auf 0,4 m/sec zunahm. Daraus resultierte die zusätzliche Zunahme des Katagrades um 2 KS (5).

Kindermann schildert im Jahr 1933 ein damals neues System der Luttenisolierung (3), das in **Bild 2** dargestellt ist.



*a Luttenblech, b Rostschutz, c Seidenwolle (10–15 mm),  
d wasserdichte Kabelmasse, e imprägnierte Lederpappe,  
f Juteleinen, g gummierter Bezug.*

**Bild 2, Schnitt durch Lutte mit neuartigem Wärmeschutz**

Es erfüllte die Forderungen nach geringstem Wärmedurchgang, Unempfindlichkeit gegen Schlag, Wurf und Stoß und hatte eine wasserabweisende Außenschicht.

Die Isolierung war auf den Rohren bis dicht an die Enden geführt, so dass die Verbindungen selbst nicht isoliert waren.

Die Wärmezunahme der Wetter war nicht höher als 2°C auf einer Luttenlänge von 300 m.

Die Gewichtszunahme durch die Isolierschicht lag nur bei etwa 10% (3).

Middendorf (6) berichtet 1954 über die Isolierung von Lutten mit 3 cm starken Matten aus Glas- oder Silanwolle, die auf Maschendraht gesteppt sind und um die Lutte gebunden werden.

Ergebnis der Maßnahme ist eine wesentlich geringere Wärmeaufnahme der durch die Lutte strömenden Wetter.

Doppelwandige Lutten haben den Nachteil des hohen Gewichts, höherer Kosten und der empfindlichen Verbindungen.

Die Isolierung von Lutten durch Einpacken in Sägemehl, wie es oben erwähnt wurde, ist nach Middendorf um diese Zeit nicht mehr Stand der Technik, weil Blechlutten stark korrodieren und die Holzverschalung teuer ist (6).

Im Taschenbuch für Grubenbeamte für das Jahr 1965 (7) wird ebenfalls die Luttenisolierung angesprochen, deren Aufgabe es ist, den Wärmetübergang in die zu blasenden Wetter zu verringern; dafür ist eine Isolierschicht von mindestens 3 cm erforderlich.

Vorteil dieses Verfahrens ist, dass keine zusätzliche Energie für die Kühllhaltung der Wetter aufgewendet werden muss (7).

Voß (8) gibt den Effekt, der durch die Luttenisolierung erzielt werden kann, so an, dass für eine isolierte Lutte von 500 m Länge und 0,7 m Durchmesser der Wärmeanstieg auf 1°C begrenzt werden kann, während er ohne Isolierung unter den von Voß beispielhaft genannten Bedingungen über 6°C betragen hätte.

### **Literatur:**

(1) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 645 - 653

(2) Andre, W.: Betriebserschwerisse in tiefen Gruben, Glückauf 1922, S. 97 - 102

(3) Kindermann, C.: Wärmeschutz an Wetterlutten, Glückauf 1933, S. 545

(4) Schulte, F.: Praktisch wichtige Forschungsergebnisse über den Wärmeschutz, Glückauf 1923, S. 1126 - 1128

(5) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 83 - 97

(6) Middendorf, H.: Sonderbewetterung in Streckenvortrieben, Glückauf 1954, S. 1160 - 1166

(7) Taschenbuch für Grubenbeamte 1965, Karl Marklein-Verlag, Düsseldorf, S. 214

(8) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 93

### **Bilder:**

**Bild 1** Isolierte Wetterlutten, Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 652

**Bild 2** Schnitt durch Lutte mit neuartigem Wärmeschutz, Kindermann, C.: Wärmeschutz an Wetterlutten, Glückauf 1933, S. 546

#### 7.1.2.4 Isolierung von Rohrleitungen

Beim Bau des Simplontunnels (siehe auch **Punkt 7.1.3.5.1**) wurde bereits eine Isolierung von Rohrleitungen verwendet **(1)**.

Pressel erwähnt, dass die Betriebswasser, zum Beispiel für den Antrieb der Bohrmaschinen, vor Ort möglichst kühl sein sollten, um Wärme aufnehmen zu können. Mit fortschreitender Auffahrung und zunehmender Gebirgswärme wurde auch das Betriebswasser so warm, dass es diese Aufgabe nicht mehr erfüllen konnte. Deshalb wurden die beiden Leitungen für das Bohrwasser bereits im Jahre 1902 mit Holzkohle isoliert **(1)**.

Es wurde erreicht, dass das Druckwasser für die hydraulisch angetriebenen Brandt'schen Bohrmaschinen vor Ort mit Temperaturen zwischen 12 und 22°C ankam, abhängig von der Jahreszeit und der Länge der Strecken in den Rohrleitungen, die aus betrieblichen Gründen nicht isoliert werden konnten **(1)**.

Später wurde das Druckwasser auch für die übrigen Arbeitsstellen durch Rohre geleitet, die ebenfalls mit Holzkohlenklein in Blechverschaltungen isoliert waren. Die erzielten Erfolge wurden von Pressel als gut bezeichnet **(1)**.

Eine andere Maßnahme zur Verbesserung der klimatischen Situation beim Bau des Simplontunnels erwähnen Stočes und Černik **(2)**. Es waren zwei warme Quellen mit 100 l Zufluss/s und 47°C und 320 l/s und 46°C angefahren worden.

Durch sorgfältiges Abdecken der Wasserseige wurde erreicht, dass sich die Wassertemperatur bis zum Verlassen des Tunnels nur um 6 bis 7°C verringerte. Dennoch lag die aus dem Wasser abgegebene Wärmemenge bei über 9 Mio. kcal/h **(2)**.

Auf der Zeche Hermann in Selm fielen große Mengen warmen Gebirgswassers an. Um die Wärmeübertragung aus dem Wasser in die Wetter zu begrenzen, wurde das Wasser konzentriert in einer abgedeckten Seige abgeführt. Es wurde sogar überlegt, die Wasserseige zu isolieren **(3)**.

Die Isolierung von Rohrleitungen hat auch heute noch eine große praktische Bedeutung **(4)**, einmal bei Kaltwasserleitungen, in denen Wasser von Kältemaschinen zu Wärmetauschern fließt, zum anderen bei Rohrleitungen, durch die warme Sole oder erwärmtes Kühlwasser zur Kälteanlage geführt wird.

In beiden Fällen soll der Wärmeaustausch zwischen Wasserleitung und Wetterstrom möglichst gering sein, entweder um den Kälteträger möglichst kalt zu den Wetterkühlern zu bringen, oder um eine Wettererwärmung durch ein warmes Medium zu verhindern.

In einem Berechnungsbeispiel führt Voß **(4)** an, dass der k-Wert einer Rohrleitung von 80 mm Durchmesser, der ohne Isolierung 29,1 W/m<sup>2</sup>K beträgt, durch eine Isolierung mit 40mm starken Styroporschalen auf 1,21 W/m<sup>2</sup>K reduziert werden kann.

## Literatur:

- (1) Pressel, K.: Die Bauarbeiten am Simplontunnel, Schweizerische Bauzeitung 1906, S. 249 - 313
- (2) Stočes, B. und Černik, B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 132
- (3) Andre, W.: Betriebserschwerisse in tiefen Gruben, Glückauf 1922, S. 97 - 102
- (4) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 192

### 7.1.2.5 Kontrollierte Ableitung von anfallendem Wasser

Das aus dem Gebirge anfallende und Wärme übertragende Wasser war schon früh Gegenstand der Betrachtungen unter Klimagesichtspunkten.

Herbst befasst sich in seinem Artikel „Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung“ (1) im Jahre 1920 damit. Für ihn ist „von besonderer Bedeutung die möglichst rasche und gegen Ausstrahlung geschützte Ableitung warmer Grubenwasser.“

Er unterscheidet zwischen den Tropfwässern, die in erster Linie im Sandsteingebirge auftreten, und warmen Quellen, die durch Anfahren von Klüften erschlossen werden können.

Das Tropfwasser würde bei einem lebhaften Wetterzug im Grunde durch die Verdunstung zu einer leichten Abkühlung führen können; dieser Wert wäre aber gering im Vergleich zum Wärmeübergang vom Tropfwasser in die Wetter.

Da die Tropfwässer direkt aus dem Gebirge kommen und daher auch dessen Wärme mit sich führen, schlägt Herbst als Gegenmaßnahme vor, den Wetterzug durch Traufdächer zu schützen und die Wässer rasch abzuführen.

Warme Quellen müssen nach Herbst „abgefangen und durch ein Geflüter mit wärmeschützender Bedeckung möglichst rasch abgeführt werden.“ Nach Herbst amortisieren sich die für diese Wärmeschutzmaßnahmen zu tätigen Aufwendungen sehr schnell (1).

Auch in den tiefen Gruben des östlichen Ruhrgebiets wurden Maßnahmen ergriffen, um den Wärmeübergang aus den Gebirgswässern in die Wetter so weit wie möglich zu verhindern.

Andre schreibt 1922 in seinem Aufsatz „Betriebserschwerisse in tiefen Gruben“ (3) dazu: „Noch unangenehmer als das Auftreten von Zuflüssen aus dem Mergel in den Schächten ist es, wenn man die Wasser im Felde in großer Tiefe erschließt.“

Das Wasser nimmt die Temperatur des Gebirges an, und man hat dann in der Wasserseige eine Art Warmwasserheizung in der Grube.

Allen Ernstes ist der Vorschlag gemacht worden, diese Wasser in isolierten Leitungen dem Sumpf zuzuführen.

Auf der Zeche Hermann hat man beispielsweise schon durch die Belegung der Wasserseige mit Bohlen Erfolg erzielt. Die Temperatur der Grubenluft ist dadurch um einige Grad gesunken.“

Auf der Zeche Sachsen wurde das warme Gebirgswasser, wie Jansen (2) berichtet, ebenfalls beim Austritt aus dem Gebirge direkt abgefangen und durch Rohrleitungen mit Pumpen zum Hauptsumpf und von dort zu Tage gefördert.

Wegen der Anwendung dieses Verfahrens konnte auf der Zeche Sachsen keine messbare Erhöhung der Wettertemperatur durch „heiße Quellen“ festgestellt werden.

Schulz geht in seinem im Jahre 1932 gehaltenen Vortrag „Die Bekämpfung hoher Grubentemperaturen“ (4)(5) darauf ein, dass sich häufig aus großer Tiefe stammende Grubenwässer in Form von warmen Quellen unangenehm bemerkbar machen, vor allem wenn sie im Gegenstrom den einziehenden kühlen Wetter entgegenfließen.

So ist ein m<sup>3</sup> Wasser, das sich um 20°C abkühlt, in der Lage, fast 6.500 m<sup>3</sup> Wetter um 10°C zu erwärmen.

Schulz schildert ein Beispiel, ohne das Bergwerk konkret zu nennen, in dem sich der einziehende Wetterstrom von 400 m<sup>3</sup>/min von 14°C auf 26°C durch Grubenwasser erwärmt, das sich hierbei nur um 1°C von 37,5 auf 36,5°C abkühlt.

Auch Schulz (4) macht den Vorschlag, dass sämtliche Wässer auf den tiefen Sohlen, und vor allem warme Quellen, in gut abgedeckten Wasserseigen oder noch besser in isolierten Rohrleitungen unmittelbar zu einem Ausziehschacht geführt und auch die Steigrohre in den Wasserhaltungen in den Ausziehschacht gelegt werden, was den erwünschten Nebeneffekt hat, dass die Wasserwärme dann den natürlichen Wetterzug unterstützt.

### **Literatur:**

(1) Herbst, F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 489 - 492

(2) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S.1 - 12

(3) Andre, W.: Betriebserschwerisse in tiefen Gruben, Glückauf 1922, S. 97 - 102

(4) Schulz, W.: Die Bekämpfung hoher Grubentemperaturen (Auszug aus einem am 20.6.1932 im Haus der Technik in Essen gehaltenen Vortrag), Der Bergbau 1933, S. 1 - 5

(5) Schulz, W.: Die Bekämpfung hoher Grubentemperaturen (Auszug aus einem am 20.6.1932 im Haus der Technik in Essen gehaltenen Vortrag), Der Bergbau 1933, S. 15 - 17



### 7.1.2.6 Vermeidung des Wärmeübergangs aus dem Haufwerk, durch Oxidation usw.

Bereits Anfang der 1920er Jahre wurde in der Literatur die Erwärmung der Wetter aus Quellen wie dem Haufwerk, der Oxidation usw. eingehender thematisiert.

Durch die einsetzende Mechanisierung fielen große Haufwerksmengen an, die auf Grund der Feinkörnigkeit eines großen Teils des Haufwerks sowohl große Heizflächen zu den Wettern als auch große Kontaktflächen für die Oxidation der Kohle mit dem Luftsauerstoff bildeten.

Entsprechend groß waren die Auswirkungen und die Notwendigkeit, Maßnahmen gegen die Erwärmung zu ergreifen.

Andre (1) berichtet im Jahr 1922, dass auf der Zeche Radbod Abbaubetriebe nicht mehr so konzentriert gefahren wurden wie vorher. Wurde zum Beispiel in einem langem Schüttelrutschenstreb in einer Schicht eine sehr große Menge an Kohle freigelegt, die ihre Wärme zu einem Teil auf die Wetter im Streb übertrug, lag die Temperatur am Kopf eines Schüttelrutschenbetriebes um 7°C höher als am Fuß.

Neben dem direkten Wärmeübergang aus dem Haufwerk war auch die Oxidation der Kohle, und in geringerem Maße des Holzes, verantwortlich für die Erwärmung der Wetter, wie bereits ausgeführt.

Nach Heise und Drekopf (2) war dieses Gebiet im Jahr 1924 noch sehr wenig erforscht.

Sie geben aber bereits allgemein die Empfehlung (2), „dass der Kohlenstaub tunlichst abgesaugt und entfernt werden muss, dass ein möglichst kohlenfreier Alter Mann nützlich sein wird, dass man anstehende Kohlenstöße (vielleicht durch Torkretierung) verkleiden muss, um sie der Einwirkung der Luft zu entziehen, und dass man, soweit irgend angängig, die Strecken im festen Gestein statt in der Kohle auffahren soll.“

Droste, Bergwerksdirektor des Zeche Sachsen, geht 1924 ebenfalls (3) anlässlich des Vortrags von Heise und Drekopf auf die Frage der Wärmeabgabe aus dem Haufwerk ein: „Der Vortragende hat richtig darauf hingewiesen, dass die Sauerstoffaufnahme und die Kohlensäurebildung eine wichtige Rolle spielen.

Wir haben auf der Zeche Sachsen festgestellt, dass die Temperaturerhöhung in den Abbauen der einzelnen Flöze ganz verschieden ist.

Diejenigen Flöze, die eine sehr harte Kohle führen und nicht zu sehr zur Staubbildung neigen, entwickeln weniger hohe Temperaturen als die Flöze mit sehr weicher und zur Staubbildung neigender Kohle.

Aus diesem Grunde bin ich zu der Überzeugung gekommen, dass das auf den meisten Zechen übliche Förderverfahren, wonach die Kohle durch die tiefere Sohle im Gegenstromprinzip zu den einziehenden Wettern geleitet wird, nicht zweckmäßig ist.

Wir müssen uns in dieser Beziehung umstellen und im Gleichstromverfahren mit dem Wetterstrom fördern. Dies ist sehr gut möglich. Auf der Zeche Sachsen ist eine Abteilung in der Vorrichtung begriffen, in der die Kohle nach diesem Grundsatz gefördert werden soll.

Wenn man auch im allgemeinen der Ansicht ist, dass für tiefe Gruben der wenigen Strecken wegen nur der Stoßbau und der Schüttelrutschenabbau in Frage kommen, so muss man sich doch darüber klar sein, dass diese Abbauarten, besonders der Schüttelrutschenabbau, die Wärmeentwicklung erheblich verstärken. Die Kohle wird nämlich in den Rutschen in dünnen Lagen stoßweise nach unten befördert, so dass die Sauerstoffaufnahme und auch die Kohlensäureentwicklung bei dieser Förderart sehr groß ist. Auf Grund dieser Erfahrungen sind wir zur Zeit auf der Zeche Sachsen mit dem Entwurf einer pneumatischen Förderanlage beschäftigt, mit der die gewonnene Kohle sofort aus den Betrieben abgesaugt und zur Wettersohle geleitet werden soll.

Wenn auch die Kohle mit der angesaugten Luft in Verbindung bleibt, so gelangt sie doch durch eine geschlossene Rohrleitung und in einem geschlossenen Behälter zur Wettersohle, ohne mit der Außenluft in Berührung zu kommen. Die Ansaugeluft wird auf der Wettersohle sofort dem ausziehenden Wetterstrom zugeführt und auf dem kürzesten Weg zum Wetterschacht geleitet.“

In der Literatur taucht später die Einführung der pneumatischen Förderung auf der Zeche Sachsen nicht mehr auf.

Bis zum Jahr 1940 war die Mechanisierung noch weiter fortgeschritten. Fritzsche (4) macht in diesem Jahr Vorschläge zur Vermeidung der Wettererwärmung aus der Oxidation.

Grundlage für ihn sind nach wie vor die Untersuchungen von Jansen auf der Zeche Sachsen in den 1920er Jahren.

Auch die Vorschläge, die Fritzsche macht, gehen in die selbe Richtung, allerdings mit dem Unterschied, dass die fortgeschrittene Technik eine Vermeidung der Staubbildung durch Einschränkung der maschinellen Gewinnung und der mechanischen Fördermittel nicht mehr sinnvoll erscheinen lässt.

Der Wetterführung kommen nach Fritzsche aber alle Maßnahmen zu Gute, die aus Absatzgründen zur Schonung der Kohle unternommen werden, damit ist vor allem die Kornschonung gemeint (4).

Neben der Schräg- und Schlitzarbeit ist das der Übergang von der Rutschen- zur Bandförderung im Streb und in der Abbaustrecke, die Einführung von Bremsförderern in halbsteiler Lagerung und von Seigerförderern, Wendelrutschen und ähnlichen Mitteln zur senkrechten Abwärtsförderung und die Regelung des Austrags an Ladestellen. Die Maßnahmen für die geneigte Lagerung hatten für die tiefen Gruben des östlichen Ruhrgebiets natürlich keine Bedeutung.

Auf einigen Zechen war um diese Zeit bereits die Staubabsaugung an Großladestellen eingeführt. Dadurch wurde das Niederschlagen des Staubes durch Bebrausen mit Wasser überflüssig, das zwar seinen Zweck erfüllte, aber die Feuchtigkeit der Wetter erhöhte, mit dem entsprechenden Absinken der Kühlstärke, und im späteren Aufbereitungsprozess die Staubabscheidung erschwerte (4).

Voß (5) misst der Wettererwärmung durch Oxidation keine so hohe Bedeutung zu. Er führt einzelne ungewöhnlich hohe Messwerte im Abbau auf das mögliche Vorhandensein von Pyrit und dessen Oxidation zurück.

Nach Voß (5) weisen vereinzelte Angaben in russischem Schrifttum auf eine Oxidationswärme von kaum mehr als 30 kW im Abbau hin.

### **Literatur:**

- (1) Andre, W.: Betriebserschwerisse in tiefen Gruben, Glückauf 1922, S. 97 - 102
- (2) Heise, F. und K. Drekopf: Die Bildung der Grubentemperaturen und die Möglichkeiten der Beeinflussung, Glückauf 1924, S. 583 - 590
- (3) Heise, F. und K. Drekopf: Die Bildung der Grubentemperaturen und die Möglichkeiten der Beeinflussung, Glückauf 1924, S. 607 - 614
- (4) Fritzsche, H.: Heutiger Stand und Zukunftsmöglichkeiten der Wetterkühlung in heißen Gruben, Glückauf 1940, S. 149 - 157
- (5) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 52

## **7.1.3 Zusätzliche Maßnahmen**

### **7.1.3.1 Verdunstung von Wasser**

Die Kühlwirkung durch die Wasserverdunstung war, wie bereits mehrfach erwähnt, schon früh erkannt worden.

Es war aber auch schon früh klar, dass durch die Wasserverdunstung zwar die Trockentemperaturen gesenkt werden konnten, dass die klimatische Belastung des Menschen durch die höheren Feuchtigkeitswerte aber steigt.

Heise und Drekopf fassen das 1924 (1) wie folgt zusammen: „Hinsichtlich der Anwendbarkeit der Wasserverdunstung stehen sich zwei Meinungen gegenüber: Nach der einen darf man, um die allzu hohen Grubentemperaturen herabzukühlen, von der großen Kühlwirkung der Wasserverdunstung Gebrauch machen. Nach der anderen ist jede künstliche Wasserverdunstung zu vermeiden, weil dadurch der Nasswärmegrad erhöht, das Wohlbefinden des Menschen herabgesetzt und seine Leistungsfähigkeit geschwächt wird. Man gebraucht wohl das Schlagwort, dass der Mensch eher eine Steigerung der Temperatur als eine Steigerung des Nasswärmegrades erträgt.“

Heise und Drekopf weisen darauf hin, dass die Entscheidung über die Anwendung der Wasserverdunstung zur Kühlung nicht pauschal zu treffen ist (1).

Sie halten eine gezielte Wasserverdunstung bis etwa 18°C oder 20°C für sinnvoll, weil in diesen Bereichen selbst bei vollständiger Sättigung die Wetter sich nicht gesundheitsschädigend auswirken werden. Über Tage herrschen bei regnerischem Wetter ähnliche Bedingungen, die ohne Beschwerden ertragen werden.

Erst bei höheren Temperaturen wirkt ein stärkerer Feuchtigkeitsgehalt schwül und drückend.

Deshalb wird man bei höheren Temperaturen Sorge dafür tragen müssen, dass ein gewisses Sättigungsstreben der Luft erhalten bleibt, damit die Möglichkeit der Schweißverdunstung nicht unterbunden wird.

Die Verdunstungs- und damit auch Kühlungsmöglichkeiten der Wetter sind im Sommer und Winter verschieden.

Das liegt einerseits an dem je nach Jahreszeit unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalt der Außenluft, andererseits an der Wirkung des Ausgleichsmantels unter Tage.

In der warmen Jahreszeit beträgt der durchschnittliche absolute Feuchtigkeitsgehalt der Wetter nach Heise und Drekopf 9 bis 10 g/m<sup>3</sup>, in der kalten nur 5 bis 6 g/m<sup>3</sup>.

Bis zu einem Feuchtigkeitsgehalt von 15 g/m<sup>3</sup>, der einer 100%igen Sättigung bei 18°C entspricht, können die Wetter im Winter noch 9 bis 10 g/m<sup>3</sup> aufnehmen, im Sommer nur 5 bis 6 g/m<sup>3</sup> (1).

Daraus folgt, wie bereits angesprochen, dass man den Wetterstrom im Winter stärker durch Wasserverdunstung kühlen kann als im Sommer.

Im Winter sind jedoch die Kühlungserfordernisse nicht so stark wie im Sommer.

Aus der Winterkühlung ergibt sich jedoch der Vorteil, dass die den Wärmeausgleichsmantel beeinflussenden jahreszeitlichen Temperaturschwankungen verstärkt werden und dementsprechend eine höhere Kältemenge gespeichert wird, die den Aufbau eines Kältemantels noch verstärkt, der in den warmen Monaten genutzt werden kann.

Die Winterkühlung kann in der Regel in acht bis neun Monaten eines Jahres erfolgen, so dass in den drei bis vier heißesten Monaten die Wirkung genutzt werden kann.

Ein ähnlicher Effekt ist durch die Nachtkühlung zu erzielen (1).

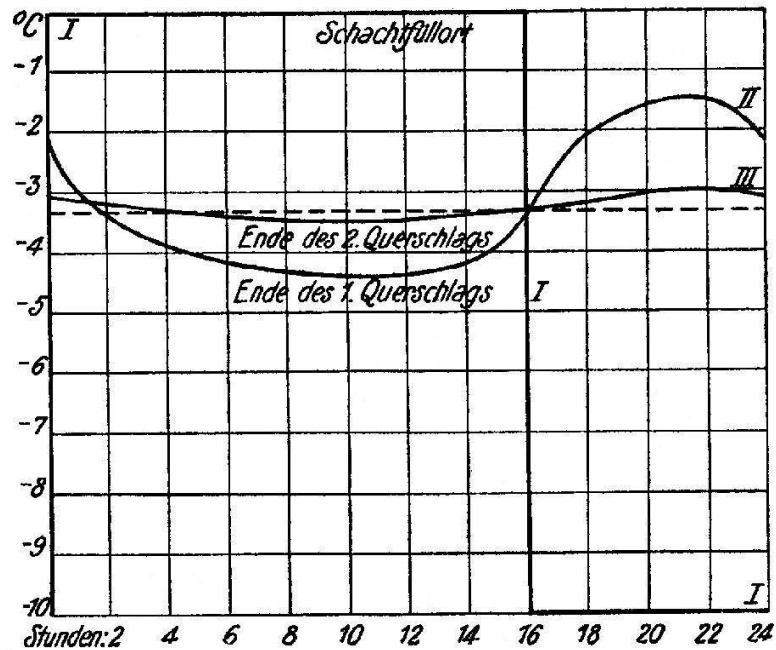
Nach Heise und Drekopf (2) soll sowohl bei der Winter- als auch bei der Nachtkühlung die Wasserverdunstung möglichst am Anfang des Wetterweges einsetzen, damit ein langer Weg zur Speicherung der erzeugten Kälte zur Verfügung steht.

Deshalb wird man die Wasserverdunstung bereits im Schacht beginnen lassen und dafür sorgen, dass sie in den Hauptquerschlägen nach Möglichkeit beendet ist. Dafür spricht auch, dass im Füllort wegen der Verdichtungswärme ein relativ niedriger relativer Feuchtigkeitsgehalt herrscht und deshalb das Wasser schnell in den Wetterstrom aufgenommen wird (2).

Die volle Wirkung der Wasserverdunstung tritt nicht sofort ein, sondern erst nach Erreichen eines Dauerzustandes, dessen Eintreten hauptsächlich von dem Nachströmen der Gebirgswärme auf Grund der Herabsetzung der Mitteltemperatur abhängt.

Der Dauerzustand als stabiler Zustand zwischen der Wärmeabfuhr durch die Wasserverdunstung und der Wärmezufuhr aus dem Gebirge stellt sich für die Nachtkühlung nach etwa einem halben Jahr und für die Winterkühlung nach etwa zwei Jahren ein (2).

Unterstellt man diesen Dauerzustand, so ergeben sich nach Heise und Dreköpf die in **Bild 1** dargestellten Verhältnisse für die Wirkung der Nachtkühlung auf weiter feldwärts gelegene Punkte des Wetterweges. Dabei ist unterstellt, dass die Wasserverdunstung im Schacht erfolgt und dass es durch sie gelingt, die Temperatur am Füllort während der Nacht um  $10^{\circ}\text{C}$  zu verringern, entsprechend Linie I.



**Bild 1, Wirkung der Nachtkühlung im Dauerzustand**

Linie II gibt den Temperaturverlauf am Ende des ersten Querschlags wieder, Linie III am Ende des zweiten Querschlags.

Aus dem Diagramm ist zu sehen, dass sowohl am Ende des ersten als auch am Ende des zweiten Querschlags die Senkung der Temperatur im Tagesschnitt um  $3 \frac{1}{3}^{\circ}\text{C}$  stattgefunden hat.

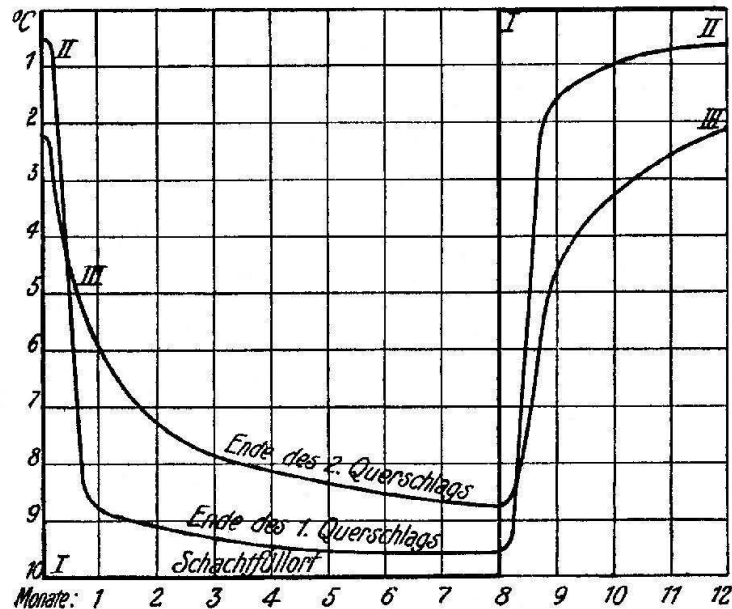
Besonders günstig sind die Verhältnisse für den ersten Querschlag, an dessen Ende die Phasenverschiebung dafür sorgt, dass die Temperatur während des Tages sogar um über  $4^{\circ}\text{C}$  gesenkt werden kann.

Am Ende des zweiten Querschlags sind die Temperaturschwankungen geringer und in etwa ausgeglichen.

Aus den Ergebnissen zeigt sich, dass durch die Nachtkühlung in den Bauen eine Temperaturverringerung erzielt werden kann, die sich auf ein Drittel der während der Nacht am Füllort erzielten Temperaturerniedrigung beläuft (2).

Ähnlich günstige Ergebnisse waren mit der Winterkühlung nicht zu erzielen, weil die Speicherung der Schwankungen mit längerer Schwingungsdauer – was sich bei der Winterkühlung durch die Verteilung auf ein ganzes Jahr ergibt – viel schlechter erfolgt als die Speicherung von Schwankungen mit kurzer Schwingungsdauer; bei der Nachtkühlung ein Tag (2).

In **Bild 2** sind die Verhältnisse für die Winterkühlung dargestellt. Es ist unterstellt, dass die Temperaturverringerung um 10°C im Füllort für acht Monate des Jahres gelingt.



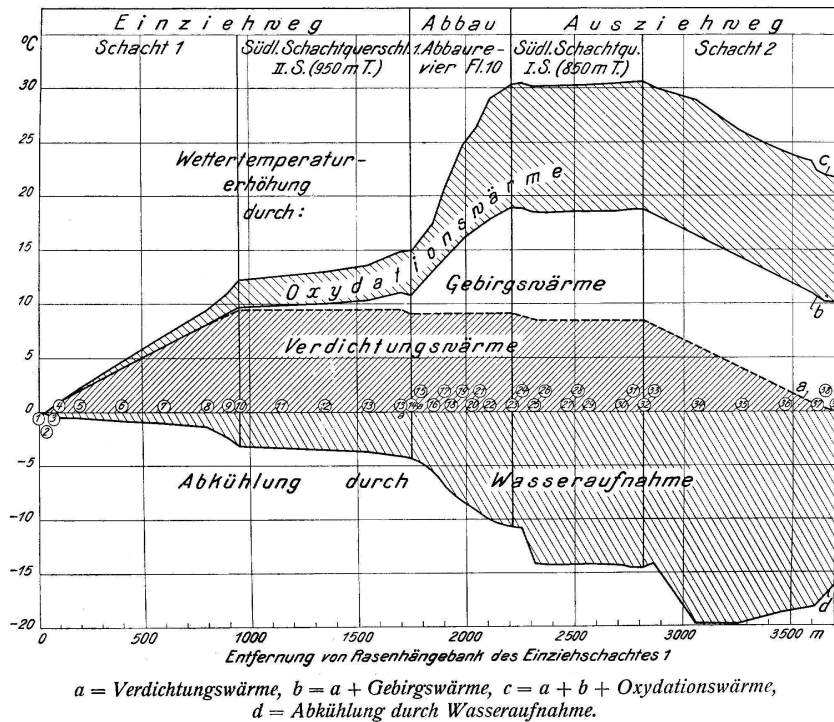
**Bild 2, Wirkung der Winterkühlung im Dauerzustand**

Nach dem Diagramm zeigt sich, dass die Speicherung nur gering ist und die im Winter erzeugte Kälte auch hauptsächlich dem Winterstrom zugute kommt. Die Temperaturverringerung geht im Sommer sehr schnell zurück und beträgt am Ende des ersten Querschlags (Linie II) während der vier Sommermonate nur etwa 1 ½°C, für das Ende des zweiten Querschlags erreicht sie etwa 4°C. Nach Heise und Drekopf werden in den Abbauen, je nach Lage, etwa 15 bis 40% der am Füllort erreichten Temperaturverringerung nutzbar gemacht (2).

Jansen berichtet 1927 (3) über Erfahrungen, die auf der Zeche Sachsen unter anderem mit der Wasserverdunstung zu Kühlzwecken gemacht wurden.

Über die Abkühlung durch Wasseraufnahme auf der Zeche Sachsen wurde bereits berichtet.

Das **Bild 3**, das auch unter **Punkt 3.12** bereits verwendet wurde und aus Gründen der Übersichtlichkeit hier noch einmal dargestellt wird, zeigt unter anderem, dass die Abkühlung durch Wasseraufnahme bis zur vollständigen Sättigung im Ausziehschacht 2 20°C beträgt.



**Bild 3, Anteil der Verdichtungs-, Gebirgs- und Oxydationswärme an der eigentlichen Gesamtwettererwärmung sowie Abkühlung durch Wasseraufnahme im Jahresdurchschnitt**

Bis zum Abbau war nur eine Kühlwirkung von 10°C durch Wasserverdunstung eingetreten.

Durch eine zusätzliche künstliche Wasserverdunstung, zum Beispiel mit Nebeldüsen, ließe sich eine zusätzliche Temperatursenkung um weitere 10°C erreichen (3).

Dieses Verfahren der künstlichen Kühlung durch Wasserverdunstung wurde in den 1920er Jahren nach Jansen in den tiefen Gruben allgemein angewendet, weil es das wirksamste war und keine Umstellung des Betriebes erforderte. Ziel war es, die Wettertemperatur im Abbau unter 28°C zu halten und den durch die Schichtzeitverkürzung bedingten Leistungsabfall zu vermeiden. Diese Maßnahme wirkte jedoch, ausgelöst durch die Gesetzgebung, nur auf das Absenken der Trockentemperatur.

Jansen dazu: „Der Arbeitgeber darf sich jedoch mit diesem Erfolg nicht begnügen, sondern muss bestrebt sein, das tatsächliche Wohlbefinden und damit die Leistungsfähigkeit der Belegschaft zu steigern.“

Aus diesem Grund wurde auf der Zeche Sachsen durch dauernde Beobachtungen und Messungen geprüft, wie die Kühlung der Wetter durch Verdunstungskälte auf das Wohlbefinden der Leute einwirkte (3).

Es zeigte sich, dass bei Unterschreiten der 28°C-Grenze die Leistung nur im Verhältnis der verlängerten Arbeitszeit zunahm.

Bei gleicher Schichtdauer standen aber Wohlbefinden und Leistung zunächst in keinem gesetzmäßigen Zusammenhang mit der Trockentemperatur.

Häufig wurden unter sonst gleichen Betriebsverhältnissen an Stellen mit höheren Trockentemperaturen oft bessere Leistungen beobachtet als an Stellen mit niedrigeren Trockentemperaturen (3).

Auf die Einflüsse auf das Grubenklima wurde bereits eingegangen; dazu gehörten neben den Wettergeschwindigkeiten auch die Feuchtigkeitsgehalte der Wetter.

Da höhere Feuchtigkeitsgrade als unangenehm empfunden werden, lehnten die Bergleute die Kühlung der Wetter durch Verdunstungskälte ab und machten die Nebeldüsen auf der Zeche Sachsen häufig unbrauchbar (3).

Diese Aussagen wurden auch durch Untersuchungen in den Folgejahren gestützt.

So berichtet Giesa (4) im Jahr 1932 über Untersuchungen des britischen gewerbehygienischen Amtes (Industrial Health Research Board) zu der Frage, ob in heißen und trockenen Gruben die Arbeitsbedingungen durch Ausnutzung der Verdunstungskälte, bei künstlicher Erhöhung der Feuchtigkeitsgehalte der Wetter, verbessert werden können.

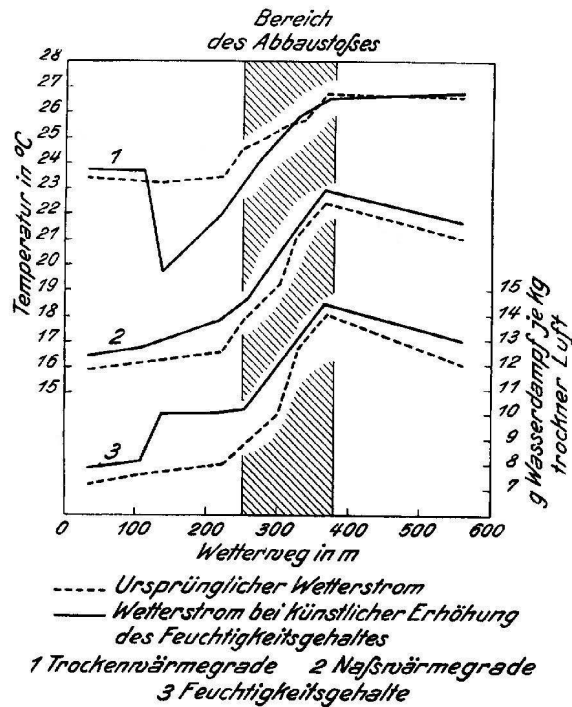
Die Versuche wurden in einem Abbaubetrieb in 620 m Teufe durchgeführt. Die Verdunstungsanlage bestand aus 5 Zerstäubern, die in 2 m Abstand voneinander aufgestellt waren und in durchschnittlich 350 m<sup>3</sup>/min Wettermenge je Stunde 54,5 l Wasser mit Hilfe von Druckluft so fein verteilen, dass der gesamte Wetterquerschnitt mit einem Wassernebel erfüllt war.

Der Feuchtigkeitsgehalt der Wetter stieg von rund 45% auf rund 70% (4).

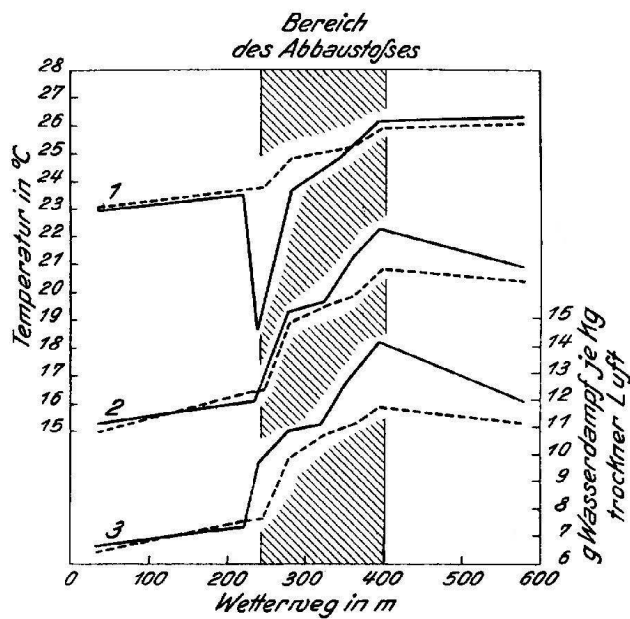
Es wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt; bei der ersten wurde die Verdunstungsanlage etwa 120 m, bei der zweiten etwa 10 m vor dem Eintritt der Wetter in den Abbau aufgestellt.

Die Messergebnisse gehen aus den **Bildern 4 und 5** hervor; dabei ist die auffällige Zunahme der Feuchtigkeitsgehalte zum Strebende hin auf zeitweise durchsickerndes Firstwasser zurückzuführen.





**Bild 4, Einfluss einer künstlichen Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes im Wetterstrom (Wasserzerstäuber etwa 120 m vor dem Abbaustöß)**



**Bild 5, Einfluss einer künstlichen Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes im Wetterstrom (Wasserzerstäuber kurz vor dem Abbaustöß)**

Die Messergebnisse zeigten, dass sich bei beiden Versuchsanordnungen die Verringerung der Trockentemperatur sehr bald wieder verlor, und zwar um so eher, je näher die Wasserzerstäubungsanlage am Abbaubetrieb lag.

Die Abkühlung hielt dort am längsten, wo der Wärmeübergang aus dem Gebirge in die Wetter gering war, also in der Strecke (4).

Giesa sieht dadurch die Untersuchungsergebnisse Jansens bestätigt, nach denen sich die Kühlwirkung der Wetter durch Verdunstungskälte nicht verbessern lässt, sondern mit zunehmender Entfernung der Wetter von der Kühlstelle immer mehr sinkt.

Nach Jansen (3) steht die Kühlleistung von Wettern in linearer Abhängigkeit von ihrem Nasswärmegrad. Aus den englischen Untersuchungen geht hervor, dass die Nasswärmegrade, selbst an der Stelle der Feuchtigkeitszufuhr, und damit verbunden stärksten Verringerung der Trockentemperatur, stetig stiegen und somit trotz des starken Rückgangs der Trockentemperatur keine Erhöhung der Kühlleistung zu erzielen war (4).

Giesa resümiert, dass eine Wetterabkühlung durch Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes kurz vor einem Abbaustoß für heiße und trockene Gruben in keiner Weise erfolversprechend ist.

Das liegt einerseits daran, dass mit der Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes die Wasseraufnahmefähigkeit der Wetter und damit die Schweißverdunstung abnehmen, gleichzeitig aber durch Vergrößerung des Temperaturgefälles die Wärmeabgabe des Gebirges größer wird.

Für diese Zeit war eine günstige Wirkung auf die klimatischen Verhältnisse in erster Linie durch die Erhöhung der Wettermenge und der –geschwindigkeit zu erzielen (4); auf diese Zusammenhänge wird an anderen Stellen näher eingegangen.

### **Literatur:**

(1) Heise, F. und K. Drekopf: Die Bildung der Grubentemperaturen und die Möglichkeiten der Beeinflussung, Glückauf 1924, S. 583 - 590

(2) Heise, F. und K. Drekopf: Die Wirkung von Hitze- und Kältewellen auf die Temperaturen des Wetterstromes, Glückauf 1924, S. 863 - 867

(3) Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 83 - 97

(4) Giesa, F.: Wetterabkühlung durch künstliche Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes, Glückauf 1932, S. 889 - 890

### **Bilder:**

**Bild 1** Wirkung der Nachtkühlung im Dauerzustand, Heise, F. und K. Drekopf: Die Wirkung von Hitze- und Kältewellen auf die Temperaturen des Wetterstromes, Glückauf 1924, S. 866

**Bild 2** Wirkung der Winterkühlung im Dauerzustand, Heise, F. und K. Drekopf: Die Wirkung von Hitze- und Kältewellen auf die Temperaturen des Wetterstromes, Glückauf 1924, S. 866

**Bild 3** Anteil der Verdichtungs-, Gebirgs- und Oxydationswärme an der eigentlichen Gesamtwettererwärmung sowie Abkühlung durch Wasseraufnahme im Jahresdurchschnitt, Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter

in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 7

**Bild 4** Einfluss einer künstlichen Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes im Wetterstrom (Wasserzerstäuber etwa 120 m vor dem Abbaustoß), Giesa,F.: Wetterabkühlung durch künstliche Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes, Glückauf 1932, S. 889

**Bild 5** Einfluss einer künstlichen Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes im Wetterstrom (Wasserzerstäuber kurz vor dem Abbaustoß), Giesa,F.: Wetterabkühlung durch künstliche Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes, Glückauf 1932, S. 889

### 7.1.3.2 Beseitigung von Feuchtigkeitsquellen

Die Nasswärmegrade werden, neben der künstlich herbeigeführten Zunahme der Feuchtigkeit in den Wettern durch gezielte Verdunstung, durch Feuchtigkeit erhöht, die aus verschiedenen Quellen in die Wetter gelangen kann.

Herbst führt 1920 *(1)* Möglichkeiten auf, um den Feuchtigkeitsgehalt der Wetter niedrig zu halten.

Zunächst bewirkt die unmittelbare Trocknung der Luft (siehe auch **Punkt 7.2.1**), wie sie besonders beim Druckluftverfahren mit der Trocknung der Kühlluft – noch gefördert durch die Wasserausscheidung im Kompressor – in Erscheinung tritt, eine Herabsetzung der Feuchtigkeitsgehalte.

Eine Einschränkung der Berieselung setzt die Sättigungsgrade in den Wettern herab und erhöht damit die Kühlwirkung. Die Berieselung wurde ursprünglich zur Staubbindung eingesetzt. Die Bindung des Kohlenstaubes musste natürlich gewährleistet sein.

Die Kühlwirkung war zunächst nur ein Nebenprodukt, allerdings weist Herbst hier im Jahr 1920 bereits auf die grundsätzlichen Schwierigkeiten unter Klimagesichtspunkten hin *(1)*.

Alle Tropfwasser sind nach Möglichkeit unmittelbar abzufangen; darauf wurde unter **Punkt 3.9** bereits eingegangen.

Heine *(2)* geht 1924 ebenfalls auf die Berieselung und ihren Einfluss auf das Klima ein: „Für tiefe und warme Gruben ist die Berieselung mit Wasser daher nachteilig, weil die so erzielte Abkühlung durch die steigende Sättigungswirkung wieder aufgehoben wird, zumal, wenn das Wasser nicht sehr kalt ist.

Aus diesem Grunde hat man auf der Zeche Westfalen die Berieselung, so weit es möglich war, eingeschränkt und durch das Gesteinstaubverfahren (mittels Kästen und Schranken) ersetzt.“ *(2)*

Der Gesteinstaub war einerseits in der Lage, den Kohlenstaub zu binden, andererseits entstand keine unnötige Feuchtigkeitsbelastung.

Stočas und Černik weisen ebenfalls darauf hin, dass die Trockenhaltung der Wetter eine besondere Bedeutung für die Vermeidung klimatischer Belastung hat (3).

Sie schlagen Maßnahmen vor, die unter anderem auf den tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers in den 1920er Jahren bereits ergriffen wurden (siehe auch **Punkt 3.9**).

Stočas und Černik (3) gehen unter anderem auf die Schächte ein, die häufig fast zur Gänze nass sind, auch wenn nur in den oberen Bereichen Wasser austritt, das dann allerdings bis zum Schachtsumpf hinunterfließt und auf einer langen Strecke die Wetter befeuchtet. Als Alternative schlagen Stočas und Černik vor, die Wetter im Schacht durch eine Lutte mit großem Durchmesser zu führen und so vom Wasser fernzuhalten – Stočas und Černik gehen allerdings nicht auf die Praktikabilität dieser Maßnahme ein (3).

Für Einziehstrecken mit Wasserzuflüssen schlagen Stočas und Černik eine Wasserableitung durch Rohrleitungen oder zumindest durch eine abgedeckte Rösche vor. Da, wo es möglich ist, sollen anfallende warme Wässer über die Abwetterwege abgeleitet werden (3).

Durch geeigneten Ausbau kann, wie auch im Schacht, Wasser daran gehindert werden, in den Streckenquerschnitt einzutreten; Stočas und Černik erwähnen hier Beton oder Anstrichstoffe wie zum Beispiel Asphalt (3).

Voß (4) nennt als zusätzliche Feuchtigkeitsquellen wassergekühlte Motoren, hydraulischen Ausbau und Rückzylinder im Streb, bei denen der Wasseraustritt nach Möglichkeit verhindert werden soll.

*Schlussfolgerungen:*

*So weit wie möglich sollte der Kontakt der Frischwetter mit Wasser vermieden werden.*

*Das kann entweder durch die Verhinderung des Wasserzulaufes, durch Abführung der Wässer in Rohrleitungen oder abgedeckten Röschen erfolgen oder durch die Verlegung der Wasserableitung auf die Abwetterseite.*

*Von den Wettern aufgenommene Feuchtigkeit führt zu einer Verschlechterung der klimatischen Verhältnisse.*

### **Literatur:**

(1) Herbst, F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 489 - 492

(2) Heine, H.: Die Durchschnittsleistung je Mann und Schicht steht auf der Zeche Westfalen I/II in Ahlen in Westfalen hinter der der Zechen im rheinisch-westfälischen Industriegebiet zurück. Es ist zu untersuchen, ob und in welcher Weise eine Erhöhung der Leistung durch Verbesserung der Wetterführung, Herabsetzung der Temperatur und Einführung weiterer maschineller

Hilfsmittel herbeigeführt werden kann, Diplomarbeit etwa 1924,  
DBM/montan.dok/Bergbau-Archiv Bochum 157/618  
(3) Stočes, B. und Černík, B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen,  
Springer-Verlag Berlin 1931, S. 258 - 262  
(4) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 60

### 7.1.3.3 Wettertrocknung

#### 7.1.3.3.1 Wettertrocknung durch Temperaturverringern

Es war aus den geschilderten Untersuchungen bekannt, dass kalte Luft ein geringeres Wasseraufnahmevermögen hat als warme. Daraus leitet sich die erste Strategie zur Entfeuchtung der Wetter ab. Der Grundgedanke für die Wettertrocknung durch die Temperaturverringern war, die Wetter so weit herabzukühlen, dass ein Teil des Wassers kondensiert und dadurch aus den Wetter entfernt wird. Bei der Wiedererwärmung resultiert daraus eine geringere relative Feuchte, die niedriger blieb als ohne vorgeschaltete Trocknung.

Auf Grund des geringeren Wassergehaltes entwickeln die Wetter dann eine höhere Kühlstärke, weil sie in der Lage sind, für eine entsprechende Schweißverdunstung der Bergleute, und damit Kühlung der Haut, zu sorgen.

Der Vorschlag zur Wettertrocknung mit Hilfe der Abkühlung der Wetter wird von Herbst (1) bereits 1920 gemacht.

In die selbe Richtung zielte der Einsatz einer Kühlmaschine - der erste im Bergbau weltweit - auf dem brasilianischen Goldbergwerk Morro Velho im Jahr 1920, über den Winkhaus (2) berichtet, siehe auch **Punkt 6.1.2**.

Es war jedoch so, dass die Kühlmaschine in erster Linie die Aufgabe hatte, die in dem feuchtheißen Klima angesaugten, vollständig mit Wasser gesättigten, Wetter zu trocknen (2).

Der Einsatz der Kühlmaschine auf dem Bergwerk Morro Velho war tatsächlich erfolgreich, was sich in den gegenüber dem ungekühlten Zustand deutlich herabgesetzten Nasswärmegraden zeigte (2).

#### 7.1.3.3.2 Trocknung der Wetter mit Salzen

Einen sehr konkreten Vorschlag für die Lufttrocknung mit Salzen machen Stočes und Černík (3) im Jahr 1931, siehe **Bild 1**.

Die Grundlage ist die Bildung von Calciumchloridhydraten aus dem Calciumchlorid. Die Hydrate werden dabei durch das in den Wettern vorhandene Wasser gebildet, die Wetter dadurch entfeuchtet. Stočes und Černik weisen darauf hin, dass bei der Trocknung von Luft mittels  $\text{CaCl}_2$  das Wasseraufnahmevermögen des Salzes mit sinkender Temperatur steigt.

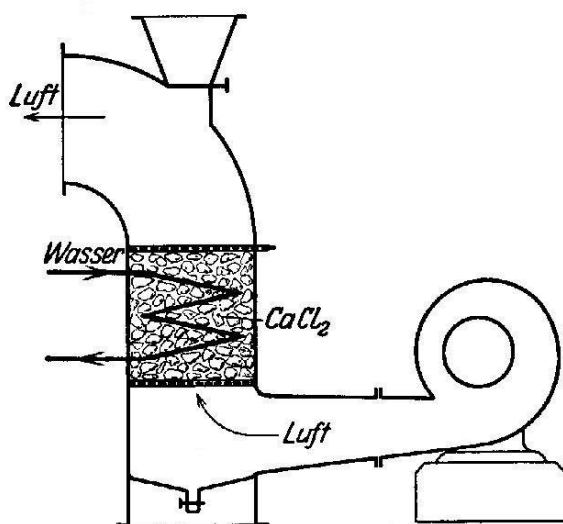
Da die Wasseraufnahme durch das Salz (3) aber ein exothermer Prozess ist, sollte eine Kühlung im Wettertrocknungsapparat einerseits erfolgen, damit die Wetter nicht vorgewärmt in die Grube ziehen und andererseits damit das Wasseraufnahmevermögen des Salzes möglichst hoch ist.

Stočes und Černik schlagen daher eine direkte Kühlung vor, indem mit kaltem Wasser durchflossene Rohrleitungen direkt durch das Salz geführt werden.

Wenn die Wetter möglichst schnell durch die Salzschrift geführt werden, kommt es zu keiner bedeutenden Lufterwärmung, die Bildungswärme bleibt zunächst in der Salzschrift und wird durch das Kühlwasser abgeführt (3).

Nach Stočes und Černik genügt eine 30 – 50 cm starke Chloridschrift, um die Luft zu trocknen.

Das entstehende flüssige Hydrat fließt nach unten ab, siehe **Bild 1**, wird gesammelt und kann anschließend getrocknet und regeneriert werden.



**Bild 1, Wettertrocknungsapparat mit Benützung von  $\text{CaCl}_2$**

Plank (4) macht 1939 ebenfalls Vorschläge für die direkte Trocknung der Wetter.

Zunächst schlägt er ebenfalls vor, für die Befeuchtung statt reinen Wassers eine konzentrierte wässrige Chlormagnesiumlösung zu verwenden, wobei alternativ auch das billigere Chlorcalcium zum Einsatz kommen könnte, ein Verfahren, das später als Pastenverfahren tatsächlich im Steinkohlenbergbau des Ruhrgebiets eingeführt wurde.

Insbesondere soll nach Plank der Einziehschacht mit einer solchen Lösung berieselt werden, um die Wetter möglichst trocken auf die tiefen Sohlen zu bekommen.

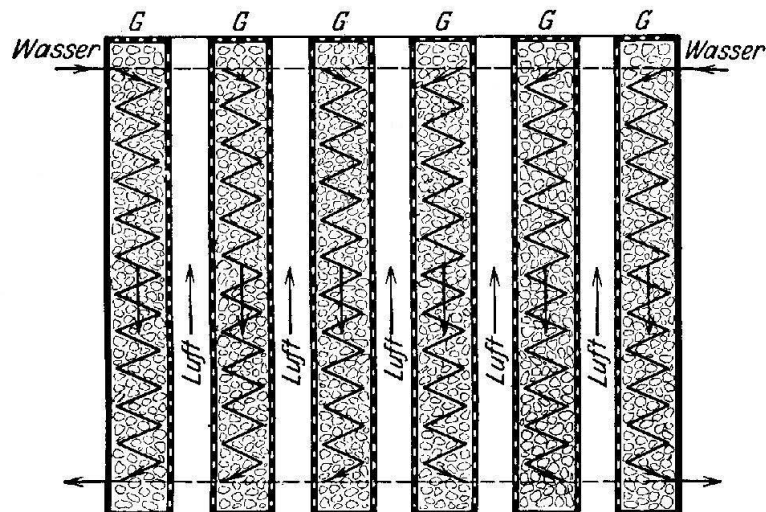
In den Kaligruben, in denen dieser Effekt von Natur aus auftritt, waren entsprechend geringe Feuchtigkeitsgehalte im Einziehstrom festzustellen.

Für den Steinkohlenbergbau an der Ruhr tauchen keine Hinweise auf, dass Salzlösungen in den Einziehschächten gezielt eingebracht worden wären.

### 7.1.3.3 Trocknung der Wetter mit Kieselsäure-Gel

Ein Vorschlag zur Wettertrocknung mit Kieselsäure-Gel, das zu dieser Zeit neu auf dem Markt war, kam ebenfalls von Stočes und Černik (3) im Jahre 1931.

Sie schlagen einen Wettertrocknungsapparat, siehe **Bild 2**, vor, in dem die feuchten Wetter an mit Gel gefüllten Kammern vorbeigeleitet werden, die aus Sieben gebaut sind.



**Bild 2, Wettertrocknungsapparat mit Benützung von Kieselsäure-Gel**

Kieselsäure-Gel ist die hydrierte Form reiner Kieselsäure, die entweder Wasser aufnimmt oder abgibt. Sie wird entweder in Pulver- oder Kornform verwendet. Stočes und Černik sehen die Verwendung von Körnern mit 3 bis 9mm Durchmesser vor.

Größere Körner setzen den Wetterern beim Durchgang einen geringeren Widerstand entgegen, jedoch ist das Innere der Körner nicht so aktiv an der Wasseraufnahme und damit der Trocknung beteiligt (3).

1 kg Gel ist in der Lage, 400 g Wasser aufzunehmen; bei der Wasseraufnahme entsteht Kondensationswärme – nicht wie beim Salz Bildungswärme -, die, ebenso wie bei der Trocknung mit Salzen, die Kühlung der Gelschicht mit Wasser, das durch Kühlschlangen geführt wird, erfordert (Bild 2).

Nach der Sättigung der Gelschicht kann diese durch Erwärmen auf etwa 150°C regeneriert werden; nach 2 Stunden ist der Wassergehalt dann wieder auf 7% gesunken. Eine weiterführende Trocknung würde nach Stočes und Černik eine aufwändigere Vorgehensweise bedingen.

Für den praktischen Betrieb sind drei Kammern sinnvoll, von denen jeweils eine für die Trocknung verwendet wird und zwei regeneriert werden (3).

Die Regenerierung kann nach Stočes und Černik erfolgen, indem durch die Rohrschlangen, durch die während des Trocknungsbetriebes das Kühlwasser strömt, heißes Wasser geleitet oder heißes Gas oder heiße Luft durch die Gelkammern geblasen wird.

Eine Alternative wäre, die allerdings sehr teure, Trocknung mit elektrischen Widerstandserhitzern in der Gelschicht oder die Nutzung der Drahtkörbe, in denen das Gel gelagert ist, und der Kühlschlangen für die Widerstandserhitzung (3).

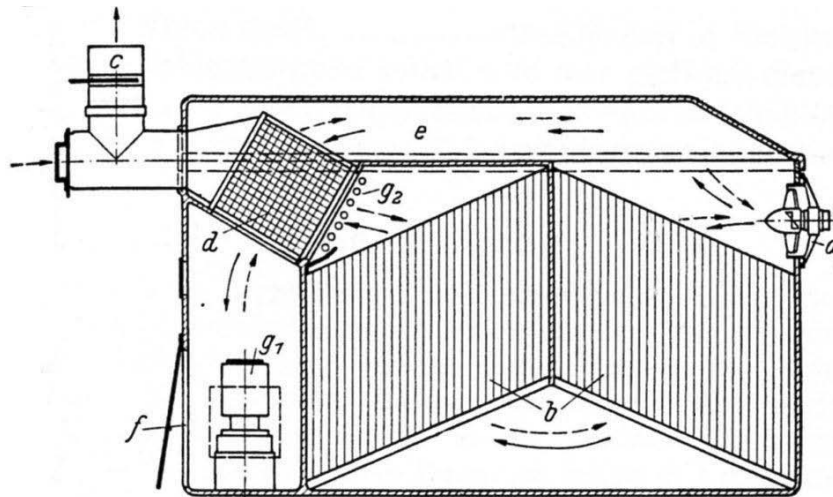
Insgesamt erwarteten Stočes und Černik hohe Kosten durch dieses Verfahren, wodurch das Trocknungsverfahren mit Kieselsäure-Gel im Bergbau keine Bedeutung erlangte.

#### **7.1.3.3.4 Trocknung der Wetter mit anderen Absorptionsmitteln**

Plank (4) stellt als weitere Möglichkeit den Einsatz des periodischen Absorptionsverfahrens nach Altenkirch vor. Dabei geschieht die örtliche Trocknung der Wetter durch fahrbare Lufttrockner.

Hierbei kann man die Absorption umkehrbar leiten und von sehr billigen Absorptionsstoffen, z.B. Holz, Gebrauch machen.





**Bild 3, Lufttrockner nach dem Absorptionsverfahren für örtliche Trocknung der Luft**

In **Bild 3** ist ein nach diesem Prinzip entworfener Lufttrockner dargestellt. Die Funktionsweise wird von Plank wie folgt beschrieben: „Der Lüfter **a** saugt die feuchte Luft aus der Umgebung an, leitet sie durch den Absorptionsstoff **b**, wobei sie scharf getrocknet wird, und bläst sie durch den Stutzen **c** in die zum Arbeitsplatz führende Leitung.

Die Temperatur der getrockneten Luft steigt dabei um einige Grade an, da die Verflüssigungs- und Absorptionswärme des Wasserdampfs ihr zugeführt wird; trotzdem wird der Luftzustand hinter dem Trockner klimatisch günstiger sein. Will man die Erwärmung der Luft beim Durchtritt durch den Trockner vermeiden, dann schaltet man hinter die Absorptionsfüllung **b** einen Kreuzstrom-Wärmetauscher **d**, in dem die getrocknete und erwärmte Luft durch einen Luftstrom von Umgebungstemperatur, der durch den Seitenkanal **e** geleitet wird, wieder abgekühlt wird.

In diesem Falle empfiehlt es sich, den Trockner in einiger Entfernung vom Arbeitsplatz aufzustellen.

Solche fahrbaren Trockner haben eine Grundfläche von 0,5 x 1,7 m<sup>2</sup> und eine Höhe von 0,95 m, wiegen 180 kg.

Die vom Lüfter geförderte Luftmenge beträgt bis zu 500 m<sup>3</sup>/h, und der Absorptionsstoff kann aus der nahezu mit Wasserdampf gesättigten Grubenluft 15 kg Wasser aufnehmen. Nach Absorption dieser Wassermenge wird der Trockner wieder an die Oberfläche befördert und dort durch Wärmezufuhr regeneriert.

Die Wärme kann entweder durch den Brenner **g<sub>1</sub>** oder durch den elektrischen Heizkörper **g<sub>2</sub>** zugeführt werden.

Während der Regenerationsperiode läuft der Lüfter **a** in entgegengesetzter Richtung, und die heiße Luft nimmt das ausgetriebene Wasser in Dampfform mit.“

Anfang der 1950er Jahre geht Battig (5) in einem Gutachten auf die Wittertrocknung ein.

Er erwähnt die im südafrikanischen Bergbau verwendeten Holzhorsten zur Trocknung der Wetter.

Die allgemeine Einführung wird durch die Größe der Horden erschwert, zumal auch hier eine Erwärmung der Wetter um 2 bis 3°C eintritt, die allerdings meist gern in Kauf genommen wird, weil eben trockene, wärmere Wetter leichter zu ertragen sind als feuchte kühlere.

Battig (5) erwähnt auch die Möglichkeit,  $\text{CaCl}_2$  oder Kieselsäure-Gel statt Holz einzusetzen; er sieht aber wegen der hohen Kosten und der schwierigen Handhabung, das gilt insbesondere für die aufwändige Regenerierung mit großen Wärmemengen, den Einsatz dieser Stoffe für die Wettertrocknung als schwierig an.

#### **7.1.3.3.5 Kombination von Wettertrocknung und Verdunstungskühlung**

Im Jahr 1923 meldeten Droste und die Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft Balcke in Bochum ein „Verfahren zur Kühlung von Grubenluft“ zum Patent an (6), das darin bestand, dass die gesamten Wetter vor Eintritt in den Schacht zunächst einer Trocknung und gleichzeitigen Vorkühlung durch wasseraufnehmende Salze, insbesondere Chlorkalzium oder Chlormagnesium, und hierauf einer weiteren Kühlung durch Verdunstung unterworfen werden. Aus der Patentschrift: „Diese Salze nehmen aus der Luft lebhaft Feuchtigkeit auf.

Durch die Aufnahme von Feuchtigkeit lösen sich die Salze allmählich, und dadurch wird wiederum Lösungswärme gebunden, so dass also mit der Trocknung der Luft durch feuchtigkeitentziehende Salze zugleich schon eine Vorkühlung verbunden ist.

Die also getrocknete Luft wird dann durch einen Verdunstungskühler beliebiger Art geschickt und erfährt hier eine Abkühlung auf etwa 16°C, eine Temperatur, die eine ausreichende Kühlung auch der heißesten Grubenorte gewährleistet.

Die Abkühlung der Luft durch Verdunstungskühlung nach vorausgegangener Trocknung mit Hilfe von hygroskopischen Chemikalien ist an sich bekannt. Sie ist an sich umständlich und scheint angesichts der riesigen für die Grubenluft benötigten Luftmengen praktisch kaum durchführbar. Indessen hat eine rechnerische Nachprüfung ergeben, dass dieses Trocknungsverfahren für die zentrale Kühlung von Grubenluft doch mit guter Wirtschaftlichkeit durchführbar ist, da einerseits auf den Zechen erhebliche Mengen der hygroskopischen Salze und ausreichende Mengen für ihre Regenerierung zur Verfügung stehen und andererseits die Kalizechen hygroskopische Salze in ausreichenden Mengen liefern, so dass auch die Beschaffung dieser Stoffe keine Schwierigkeiten macht.

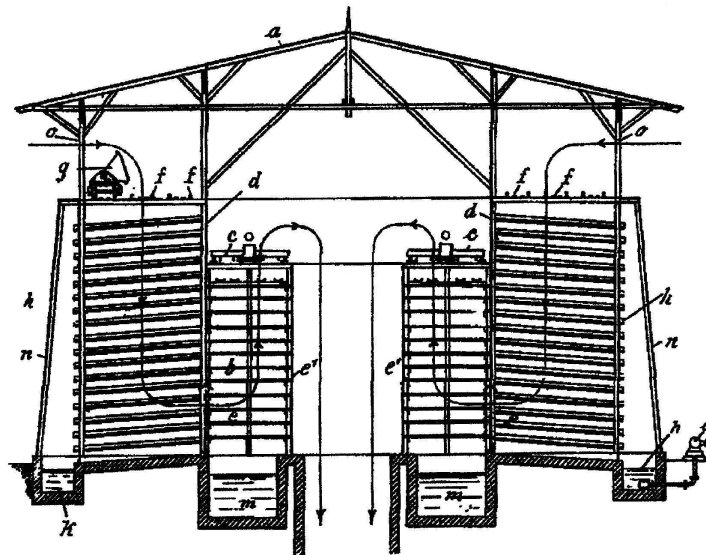
Dazu kommt noch, dass die Kalisalze, insbesondere Chlormagnesium und Chlorcalcium, zwecks Weiterverarbeitung auf der Kalizeche an sich schon mit Wasser versetzt werden müssen, so dass die Weiterverwendung dieser Salze durch die Vorverwendung als trocknende Salze gefördert wird.“

Das Verfahren lässt sich in drei Vorgänge unterteilen (6):

- Die Trocknung der Luft und damit die Herabsetzung der relativen Feuchte und damit Erhöhung der Verdunstungsmöglichkeit

- Die Lösung der wasserentziehenden Salze und gleichzeitig eine Wärmeentziehung aus der trocken werdenden Luft
- Die Verdunstungskühlung, die jedoch durch die vorgeschaltete Entfeuchtung der Luft ganz besonders niedrige Temperaturen erzeugt.

Ein konkretes Anwendungsbeispiel ist in **Bild 4** dargestellt.



**Bild 4, Trocken- und Kühlvorrichtung**

Der Kern der Anlage ist ein Berieselungskühler in der Mitte, in dem Wasser fein verteilt wird.

Um die Kühleinrichtung herum ist die Trocknerei angeordnet, in der das Salz mit oberhalb laufenden Wagen auf die schräg angeordneten Rinnen gekippt wird. Die durch die Entfeuchtung entstehende Salzlösung läuft dann nach außen ab.

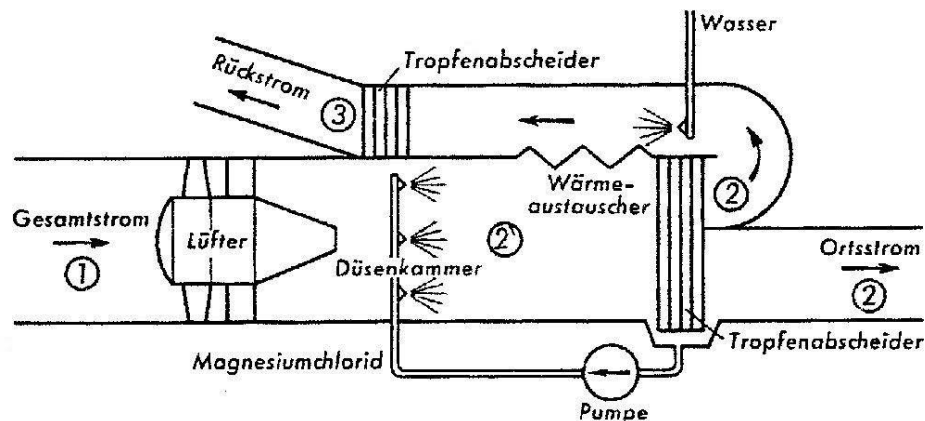
Die Wetter durchströmen von oben zunächst die Trocknerei, **Bild 4**, und dann von unten den Verdunstungskühler.

Unterhalb des Kernraumes ist der Schacht angeschlossen, in den die zunächst getrockneten und dann gekühlten Wetter gesaugt werden.

Eine praktische Anwendung der Wettetrocknung (6) auf die beschriebene Art wird für den Steinkohlenbergbau im Ruhrrevier nicht erwähnt. Durch die Verwendung der Salze aus dem Kalibergbau ist eher eine Anwendung in Kaligruben sinnvoll, weil sie da in die Aufbereitungsprozesse eingebunden werden kann.

Im Jahre 1959 bekam Bingel das Patent „Verfahren und Vorrichtung zum Trocknen und Kühlen von Luft, insbesondere von Grubenwettern“ (7), das den Gedanken der Trocknung mit nachgeschalteter Verdunstungskühlung wieder aufgriff.

Das Schema der dafür vorgesehenen Anlage ist in **Bild 5** dargestellt, das einem Beitrag von Weuthen (8) entnommen wurde.



**Bild 5, Schema einer Anlage zur Trocknung und Kühlung der Grubenwetter**

Als Absorptionsmittel wird Magnesiumchlorid benutzt, das bei der Kaligewinnung anfällt und wegen seines geringen Wertes nicht regeneriert sondern direkt entsorgt werden soll (8).

Der Gesamtweatherstrom gelangt hinter dem Lüfter zunächst in die Düsenkammer, in der das Magnesiumchlorid versprüht wird; dadurch werden die Wetter getrocknet und gleichzeitig durch die Absorptionswärme erwärmt. Die Wetter durchströmen dann einen Wärmetauscher, in dem sie heruntergekühlt werden, um dann nach Durchströmen eines Tropfenabscheiders dem Betriebspunkt, Streb oder Strecke, zugeführt werden. Ein Teilstrom wird nach dem Tropfenabscheider abgezweigt und durch versprühtes Wasser gekühlt (8).

Mit diesem gekühlten Teilstrom wird die Wärme aus dem Wärmetauscher aufgenommen und dem Abweatherstrom zugeführt.

Nach Weuthen sollte es möglich sein, Wetter mit einer Trockentemperatur von 30°C und 90% Feuchte auf 25°C und 40% herabzukühlen. Eine noch weitere Reduzierung der Trockentemperatur wäre möglich, wenn der Rückstrom relativ vergrößert würde; allerdings dann zu Lasten der Wettermenge des Ortsstroms.

Durch das geschilderte Verfahren sollte der große Nachteil der Sprühkühlung, die Belastung der Wetter mit hoher Feuchtigkeit, und die Nachteile der herkömmlichen Wettertrocknung mit aufwändig zu regenerierenden Absorptionsstoffen vermieden werden.

Im Jahr 1962 wurde (8) ein Versuch mit einem Modell mit kleiner Leistung gefahren; in der weiteren Literatur taucht das Verfahren dann nicht mehr auf.

### 7.1.3.3.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

*Anfangs fand die Feuchtigkeit wenig Beachtung; grundsätzliche Erkenntnisse wurden erst bis in 1920er Jahre erarbeitet.*

*Wichtige Zusammenhänge, die auch heute noch aktuell sind, zwischen der Trocken- und Feuchttemperatur und der Klimabelastung für den Menschen wurden bis Ende der 1920er Jahre, besonders auf den tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers erkannt und systematisiert.*

*Für die tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers war die Beherrschung des Grubenklimas, und damit, neben der Trockentemperatur, auch der Feuchtigkeit in den Wettern, von existentieller Bedeutung.*

*Die Trockentemperatur, die durch die Abänderung des Allgemeinen Berggesetzes im Jahr 1905 eine besondere Bedeutung erhielt, als Maß für die Schichtzeitbegrenzung war von Anfang an umstritten und konnte die Klimabelastung des Bergmannes nicht umfassend beschreiben. Zum Teil wurden durch die Fokussierung auf die Einhaltung der Temperaturgrenze von 28°C Fehlentwicklungen ausgelöst, die im Endeffekt zu einer Verschlechterung des Grubenklimas und damit der Leistungsfähigkeit der Bergleute führten. Das galt besonders für die Senkung der Trockentemperatur durch den gezielten Einsatz der Verdunstungskühlung, der bei den ohnehin schon mit hohen Feuchtigkeitswerten belasteten Wettern in vielen Fällen zu unerträglichen Arbeitsbedingungen führte. Die Verwendung der Trockentemperatur hatte jedoch den großen Vorteil der guten Praktikabilität.*

*Nachdem die Belastung des Grubenklimas durch die Feuchtigkeit erkannt war, lag der Gedanke nahe, das Grubenklima durch die Trocknung der Wetter zu verbessern.*

*Es wurden verschiedene Trocknungsverfahren, abgeleitet aus Anwendungen in anderen Industriezweigen, entwickelt, die auf physikalischen oder chemischen Effekten beruhten; durch Verringerung der Feuchtigkeit in Verbindung mit der Klimatisierung oder Wasseraufnahme durch Salze, Kieselsäure-Gel oder andere Absorptionsstoffe.*

*Die Idee der Anwendung von Salzen beruhte teilweise auf den natürlichen Effekten in den Kalibergwerken, wo das anstehende Kalisalz die Wetter trocken hält.*

*Ein besonderes Verfahren war die Wettertrocknung mit Salzen und eine nachgeschaltete Verdunstungskühlung.*

*Die Verfahren der Wettertrocknung erlangten im deutschen Steinkohlenbergbau – bis auf Versuchseinsätze - keine Bedeutung.*

*Eine Nutzung der Wettertrocknung scheiterte an den hohen Kosten, vor allem für die aufzuwendende Energie und für die Einsatzstoffe, und an der schwierigen Handhabung der Verfahren. Die besonders aufwändige und energieintensive Regenerierung der Trocknungsstoffe ist vor allem dann unwirtschaftlich und umständlich, wenn sie unter Tage durchgeführt werden muss.*

*Das später eingeführte Pasten- oder Salzstreuverfahren im Steinkohlenbergbau nutzt als Nachfolgetechnologie die hygroskopischen Eigenschaften von  $\text{CaCl}_2$ , allerdings mit einer anderen Zielrichtung als die Wettertrocknung.*

### **Literatur:**

- (1) Herbst,F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 489 - 492
- (2) Winkhaus,H.: Die Wetter-Kühlanlage der brasilianischen Grube Morro Velho, Glückauf 1922, S. 1197 – 1201
- (3) Stočes,B. und Černik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 270 – 275
- (4) Plank,R.: Klima-Anlagen in Bergwerken, VDI-Zeitschrift 1939, S.1021 - 1028
- (5) Battig: Gutachten zu Klimafragen im Ruhrbergbau, undatiert; DBM/montan.dok/Bergbau-Archiv Bochum 16/2304
- (6) Maschinen-Akt.Ges. Balcke und Droste,H.: Verfahren zur Kühlung von Grubenluft, patentiert im Deutschen Reiche vom 7.Februar 1923 ab, Nr. 412754
- (7) Bingel,T.: Verfahren und Vorrichtung zum Trocknen und Kühlen von Luft, insbesondere von Grubenwettern, DBP 1 051 763, 1959
- (8) Weuthen,P.: Verfahren der Grubenwetterkühlung, Glückauf 1962, S. 731 - 738

### **Bilder:**

**Bild 1:** Wettertrocknungsapparat mit Benützung von  $\text{CaCl}_2$ , Stočes,B. und Černik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 273

**Bild 2:** Wettertrocknungsapparat mit Benützung von Kieselsäure-Gel, Stočes,B. und Černik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 274

**Bild 3:** Lufttrockner nach dem Absorptionsverfahren für örtliche Trocknung der Luft, Plank,R.: Klima-Anlagen in Bergwerken, VDI-Zeitschrift 1939, S.1029

**Bild 4:** Trocken- und Kühlvorrichtung, Maschinen-Akt.Ges. Balcke und Droste,H.: Verfahren zur Kühlung von Grubenluft, patentiert im Deutschen Reiche vom 7.Februar 1923 ab, Nr. 412754

**Bild 5:** Schema einer Anlage zur Trocknung und Kühlung der Grubenwetter, Weuthen,P.: Verfahren der Grubenwetterkühlung, Glückauf 1962, S. 739

### 7.1.3.4 Vorkühlung der Wetter auf natürlichem Wege

#### 7.1.3.4.1 Gegebenheiten an der Tagesoberfläche und in der oberen Erdkruste

Die Anfangstemperatur der einziehenden Wetter kann ohne Kühlanlagen oder die Nutzung von Kältereservoirien (z.B. Vorkühler in der neutralen Temperaturzone), auf die später noch eingegangen wird, nur in sehr engen Grenzen beeinflusst werden.

Die jahreszeitlichen Schwankungen in der Atmosphäre wirken sich auf den obersten Bereich der Erdkruste aus.  
Zur Teufe hin wird dieser Einfluss immer geringer.

In 25 m Teufe, der sogenannten neutralen Zone, herrscht im Ruhrrevier eine Temperatur von etwa 9°C, die dem Jahresmittel der Außentemperaturen entspricht (1).

Beginnend mit der neutralen Zone nimmt die Gebirgstemperatur im Ruhrrevier alle 28 m, der geothermischen Tiefenstufe, um 1°C zu. Daraus ergibt sich rechnerisch für eine Teufe von 1000 m eine ursprüngliche Gesteinstemperatur von 43,82°C, die Winkhaus im Jahr 1921 für das Bergwerk Radbod durch Messungen der Gebirgswärme bestätigen konnte (1).

Die ursprüngliche Gebirgstemperatur, das heißt die Temperatur im unverritzten Gebirge, bzw. die geothermische Tiefenstufe ist für die Bergbaugebiete der Welt sehr unterschiedlich (2).

Die Größe der geothermischen Tiefenstufe ist tendenziell größer bei geologisch älteren Platten, ist aber auch bestimmt durch Einflüsse wie Vulkanismus, durch den viel Wärme in der Erdkruste gespeichert wird, wodurch die Gebirgstemperaturen ansteigen (2).

Mezger (3) erwähnt 1921 einige Möglichkeiten der Beeinflussung.

In gebirgigem Gelände besteht die Möglichkeit, die Höhenlage des Schachtes festzulegen. Grundsätzlich gilt, dass der Ansaugstrom umso kühler wird je höher der Schacht angelegt wird. Dieser Effekt kompensiert sich aber wieder, weil sich in gleichem Maße die Schachtteufe vergrößert und möglicherweise sogar der gegenteilige Effekt durch die größere Erwärmung im Schacht auftritt.

Sinnvoll kann es jedoch sein, einen Schacht in einem Wald oder an einem Nordhang anzulegen, weil hier im Mittel bis zu 2°C geringere Ansaugtemperaturen herrschen können als in einem besonnten Gelände (3).

#### 7.1.3.4.2 Nutzung der Temperaturverhältnisse in der neutralen Zone

Mezger macht 1921 (3) bei der Erörterung der Möglichkeiten, die natürliche Ansaugtemperatur zu beeinflussen, ebenfalls den Vorschlag, die Wetter nicht direkt in den Schacht einzusaugen, sondern sie durch einen Stollen zu leiten, der parallel zur Tagesoberfläche durch die neutrale Temperaturzone aufgefahen wird, in der die mittlere Jahrestemperatur von, in unseren Breiten, etwa 9°C herrscht.

Er schlägt vor, diesen Ansaugweg nur dann zu wählen, wenn die Ansaugtemperatur entweder erheblich über dem Jahresmittel oder unter dem Gefrierpunkt liegt.

Damit würde im Sommer der Stollen für die Wetter als Vorkühler und im Winter als Vorwärmer wirken.

Für die Zeche Radbod ist der Vorschlag gemacht worden, in den heißen Sommermonaten die Einziehwetter durch eine in der neutralen Temperaturzone des Mergels aufzufahende Strecke zu leiten (4). Verbunden mit der Idee, die Wetter aus beschattetem Bereich anzusaugen, sollte die Strecke in einem in der Nähe der Zeche Radbod gelegenen Wald aufgefahen werden. Andre berichtet darüber in einer Sitzung des Ausschusses für Bergtechnik, Wärme- und Kraftwirtschaft für den niederrheinisch-westfälischen Bergbau am 14. Dezember 1921 (4).

Er erwähnt bereits den später auf der Zeche Radbod tatsächlich umgesetzten Gedanken, eine Kühlvorrichtung über Tage zu nutzen, wie sie bis dahin in der hiesigen Region z. B. in Brauereien verwendet wurde.

Winkhaus greift 1922 (5) diesen Vorschlag, der auf seinen Erfahrungen auf der Zeche Radbod basiert, wieder auf und erörtert ebenfalls die Möglichkeit, eine einziehende Strecke in der neutralen Temperaturzone, d.h. in rd. 25m Tiefe, zu nutzen, um die Wetter hindurchzusaugen.

Es liegt zwar um diese Zeit noch kein Verfahren vor, mit dem der Wärmeübergangskoeffizient vom Gestein an die vorbeistreichenden Wetter rechnerisch genau hätte ermittelt werden können, es war aber schon klar, dass die Wärme schneller in die Wetter aufgenommen wird als sie im Gebirge nachfließen kann (5). Dadurch nehmen die Stöße zum Beispiel im Sommer schneller Wärme aus den Wettern auf als sie innerhalb des Gebirges ableiten können und wärmen sich entsprechend auf. Es entsteht ein Wärmemantel - analog zu den physikalischen Vorgängen, die zur Entstehung eines Kältemantels führen -, der nach relativ kurzer Zeit verhindern wird, dass den durchgeleiteten Wettern Wärme entzogen wird; damit ist die Strecke als abkühlendes Element

wirkungslos. Sie könnte erst dann wieder sinnvoll genutzt werden, wenn die Wärme im Gebirge weitergeleitet wäre.

Für diese Zeit müsste, wenn ein kontinuierlicher Betrieb gesichert sein soll, eine andere Einziehstrecke zur Verfügung stehen. Die Folge wäre nach Winkhaus, dass man eine Reihe von Kühlstrecken vorhalten müsste, von denen der größere Teil jeweils nicht benutzbar wäre, weil dort die Wärmemäntel rückgebildet würden.

Daraus folgt, dass zur Erzielung nennenswerter Erfolge eine große Gesamtlänge an Kühlstrecken vorhanden sein müsste (5).



Ein konkreter Versuch wurde Mitte der 1920er Jahre auf der Zeche Sachsen unternommen (6), über den Jansen berichtet. Vor dem Einziehschacht wurde in 34 m Teufe eine 60 m lange Kühlstrecke in der 9°C kühlen neutralen Temperaturzone aufgefahren.

Ein nennenswerter Erfolg für den Abbau trat jedoch aus zwei Gründen nicht ein, weil die Herabkühlung der Wetter im Vergleich zu einer Kälteanlage gering war und die große Entfernung zu den Abbaubereichen die Auswirkungen dort begrenzten. Im Köhlschacht und der Kühlstrecke der Zeche Sachsen wurde die Temperatur im Sommer zwar um durchschnittlich 2°C herabgesetzt, eine Auswirkung im Abbau trat erst nach Monaten ein mit der Temperaturabsenkung um etwa 1°C (6).

Verbunden mit den oben genannten Schwierigkeiten, dass die Kühlwirkung nachlässt, weil sich ein Wärmemantel aufbaut, stand der Erfolg nach Jansen in keinem Verhältnis zu dem hohen Aufwand, der getrieben wurde.

Stočes und Černik (7) berichten 1931 in ihrem Buch „Bekämpfung hoher Grubentemperaturen“ auch über die auf der Zeche Sachsen gemachten Erfahrungen und geben den Hinweis, dass zu der damaligen Zeit im Erzbergbau häufig Stollen in den oberen Horizonten die Kühlwirkung der neutralen Zone nutzten.

Sie beschreiben auch ein Patent zum „Verfahren zur Abkühlung warmer Gruben“, das Friedrich Voerster (8) aus Werne 1920 ausgearbeitet hatte. Danach müssen alle zu kühlenden Wetter vor Eintritt in den eigentlichen Einziehschacht durch eine kleine Strecke, die in der neutralen Temperaturzone in etwa 25 m Teufe aufgefahren ist, streichen.

Die Strecke ist über zwei kurze Schächte mit der Tagesoberfläche verbunden; der Hauptschacht ist mit einem Wetterverschluss versehen, damit kein Wetterkurzschluss entstehen kann.

Voerster (8) empfiehlt analog zu Winkhaus (5), zwei parallele Strecken in der neutralen Zone aufzufahren und alternativ zu nutzen, weil sich die Strecken durch den Wärmetausch mit den einziehenden Wetter erwärmen.

Somit würde die eine Strecke die einziehenden Wetter kühlen und die andere, verschlossen durch Wettertüren, in dieser Zeit wieder die niedrigere Gebirgstemperatur annehmen.

Bei der Abkühlung würden die Wetter Feuchtigkeit verlieren und dadurch bei der Wiedererwärmung eine höhere Kühlstärke aufweisen (8), weil sie trockener sind.

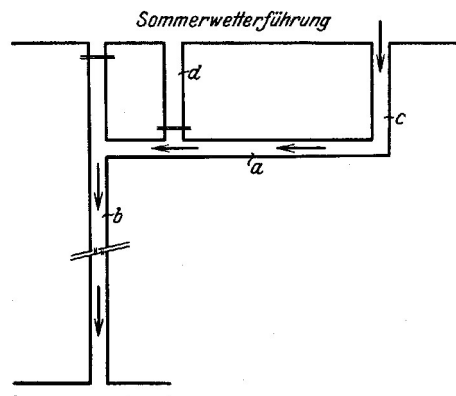
Der Hintergrund für dieses Phänomen ist, dass Wetter bei niedrigen Temperaturen weniger Wasser in Form von Wasserdampf halten können als bei höheren.

Sinkt die Temperatur der Wetter, in denen eine absolute Menge Wasser je m<sup>3</sup> Wetter enthalten ist, so steigt die relative Feuchte an; schließlich kommt es zur Kondensation eines Teiles des Wassers, und der absolute Wassergehalt in den Wetter sinkt ab.

Werden die Wetter später wieder erwärmt, sind die Wetter dann trockener, das heißt von einer geringeren relativen Feuchte, wodurch die Kühlstärke größer ist.

Ergänzend schlägt Voerster in seinem Patent vor, in den Kühlstrecken Wasserbassins aufzustellen, in denen das Berieselungswasser für die warmen Betriebe herabgekühlt werden soll, um beim Versprühen dann zusätzlich kühlend wirken zu können.

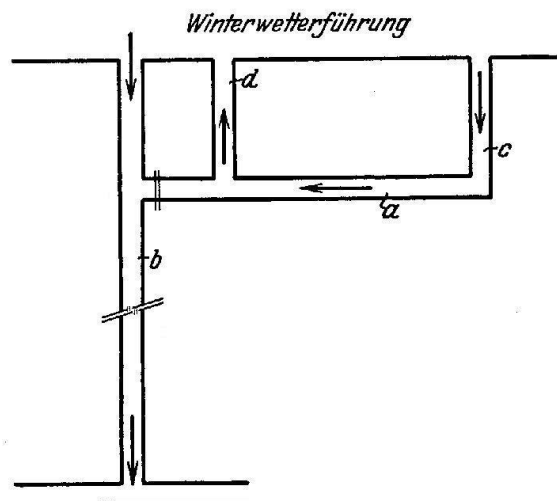
In den **Bildern 1** und **2** sind die von Stočes und Černik erweiterten Vorschläge für die Kühlverfahren in den Jahreszeiten dargestellt.



**Bild 1, Wetterkühlung mittels Kältevorratskammern. Wetterweg in warmer Jahresperiode**

**Bild 1** zeigt das Verfahren im Sommer. Die Wetter ziehen durch den Schacht **c** ein und werden durch die Kühlstrecke **a** dem Hauptschacht **b** zugeführt.

Im Winter wird die Kältereserve um die Kühlstrecke regeneriert. Deshalb ziehen die kalten Wetter über den Schacht **c** ein, kühlen die Strecke **b** und ziehen mit der aufgenommenen Wärme über den Schacht **d** wieder aus. Die in dieser Zeit für die Bewetterung der Grube benötigten – und ohnehin kühlen - Wetter ziehen direkt über den Hauptschacht **b** ein, siehe **Bild 2**.



**Bild 2, Wetterkühlung mittels Kältevorratskammern. Wetterweg in kalter Jahresperiode**

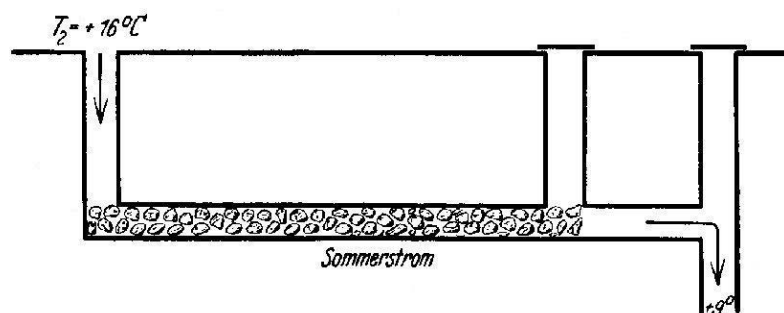
Stočes und Černik regen an, die Wirkung der Kühlstrecke dadurch zu verstärken, dass im Winter das darin befindliche Wasser mit Hilfe von Leitungen, durch die Sole strömt, eingefroren wird.

Eine Weiterführung der Grundidee der Kühlstrecke mit jahreszeitlich spezifischer Beaufschlagung ist der Vorschlag von Stočes und Černik (7), die Akkumulation der Kälte im Winter durch die Einrichtung von sogenannten Kälteverratskammern zu verstärken.

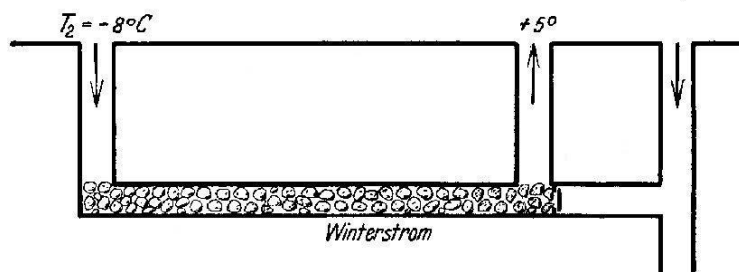
Dazu werden die Kühlstrecken mit großen Steinen ausgefüllt, um die Wärmekapazität zu erhöhen.

Die Steine sind allerdings nur in der Lage, eine in Relation zum Gebirge um die Strecke herum sehr geringe Kältemenge zu speichern (7); in der Praxis wird die Erhöhung des Wetterwiderstands durch die Steinfüllung stärker wirksam werden als der Zuwachs an Wärmekapazität, so dass Stočes und Černik dieses Verfahren kritisch sehen.

Ansonsten erfolgt die Bewetterung, wie aus den **Bildern 3** und **4** hervorgeht, analog zur Bewetterung mit den Kühlstrecken ohne Steinfüllung.



**Bild 3, Schematische Anordnung der Kälteverratskammer, Sommerstrom**



**Bild 4, Schematische Anordnung der Kälteverratskammer, Winterstrom**

Stočas und Černik gehen davon aus, dass es in den Sommermonaten mit einer Kälteverratskammer möglich ist, die einziehenden Wetter von 16°C auf 9°C herabzukühlen, siehe **Bild 3**. Voraussetzung ist allerdings, dass die Wetter so trocken sind, dass keine Wasserabscheidung in der Kälteverratskammer erfolgt, weil dadurch die Temperatur auf Grund der Kondensationswärme erheblich ansteigen würde.

Bei einer Gegenüberstellung des Verfahrens der Kälteverratskammern mit der maschinellen Kühlung kommen Stočas und Černik zu dem Ergebnis, dass die maschinelle Kühlung überlegen ist, wirtschaftlich sogar deutlich, wenn eigens für die Kälteverratskammern Grubenräume aufgefahren werden müssen. Außerdem überwiegt der Vorteil, dass mit der maschinellen Kühlung die Kühlwirkung unmittelbar dort erbracht werden kann, wo sie gebraucht wird, das heißt an den warmen Betriebspunkten (7).

Ende der 1930er Jahre schlug Motzko eine ähnliche Weiterentwicklung des natürlichen Kühlverfahrens vor (9). Motzko schlägt ebenso wie Stočas und Černik (7) vor, das Kühlsystem in den Wintermonaten von kalter Luft durchströmen zu lassen, um darin einen entsprechenden Kältemantel aufzubauen, der in der heißen Jahreszeit dann genutzt werden könnte. Motzkos Vorschlag wird von den Mitgliedern des Arbeitskreises zur Bearbeitung von Fragen der Kraftwirtschaft unter Tage auf seiner Sitzung beim Bergbau-Verein in Essen am 19. Januar 1940 erörtert und abgelehnt, weil eine ausreichend große Kühlkammer eine Grundfläche von etwa 350 m x 250 m haben müsste, und damit zu viel für die praktische Umsetzung, und, verbunden mit Kosten von über 6 Mio. Mark, bei dem zweifelhaften Erfolg auf Grund der früheren Erfahrungen zu teuer wäre(9).

#### **7.1.3.4.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

*Für die tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers war die Lösung der Klimafrage von existentieller Bedeutung.*

*Daher wurden neben den Maßnahmen der eigentlichen Wettertechnik auf diesen Bergwerken alle Möglichkeiten betrachtet, und zum Teil auch betrieblich erprobt, die bei der Lösung dieser Aufgabe helfen konnten. Dabei waren unter Umständen auch geringe Verbesserungen von Bedeutung, wenn damit Temperatur- bzw. Klimagrenzen unterschritten werden konnten.*

*Auch bei der Wetzervorkühlung auf natürlichem Wege leisteten die tiefen Gruben des östlichen Ruhrreviers Pionierarbeit.*

*Die Verlegung eines Schachtes in schattiges Gebiet kann wegen der nur geringfügig niedrigeren Ansaugtemperatur der Wetter keinen wesentlichen Beitrag zur Klimabeherrschung leisten.*

*Früh wurde schon der Vorschlag gemacht, die Wetter durch eine in der neutralen Temperaturzone aufgefahrne Kühlstrecke zu saugen. Ein entsprechender Versuch wurde auf der Zeche Sachsen durchgeführt. Der Erfolg war jedoch begrenzt, weil die Kühlwirkung gegenüber der maschinellen*

*Kühlung gering und dadurch an den Betriebspunkten kaum noch feststellbar war.*

*Um die Kühlwirkung der Strecken zu vergrößern wurde vorgeschlagen, während der Wintermonate gezielt ein Kältereservoir um die Kühlstrecken aufzubauen, das dann in den Sommermonaten genutzt werden konnte.*

*Der Vergrößerung der Kapazität der Kältespeicherung diente der Vorschlag, im Winter gezielt Eis in den Kühlstrecken zu erzeugen, dessen Schmelzen dann in den warmen Monaten den Wetter Wärme entziehen sollte.*

*In die gleiche Richtung, die Kältekapazität zu erhöhen, zielte die Anregung, die Kühlstrecken mit großen Steinen zu füllen und damit sogenannte Kälteverratskammern zu schaffen.*

*Allen Überlegungen und Versuchen zur Wettervorkühlung durch Kühlstrecken in der neutralen Temperaturzone war gemeinsam, dass, wegen des begrenzten Kälteverrats im Gebirge um die Kühlstrecken, deren Kühlfähigkeit durch die Wärmeaufnahme aus den Wetter schnell nachließ.*

*Um dauerhaft mit den Kühlstrecken Wettervorkühlung betreiben zu können, hätten die Kühlstrecken – wegen der relativ geringen Temperaturunterschiede zwischen der mittleren Jahrestemperatur in der neutralen Zone und den Wetter sowie der Wärmeaufnahme aus den Wetter - verhältnismäßig große Ausdehnungen haben müssen. Kühlvorrichtungen dieser Dimensionen wären nicht wirtschaftlich gewesen.*

*Die Idee der Kühlstrecken kam etwa gleichzeitig mit den ersten Versuchen mit der maschinellen Wetterkühlung auf; von Anfang an war die leistungsfähigere, auch über einen längeren Zeitraum verfügbare maschinelle Kühlung überlegen, auch weil sie im Gegensatz zu den Kühlstrecken in der Lage war, die Kühlung nah an die Betriebspunkte zu bringen.*

#### **Literatur:**

**(1)** Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 645 - 653

**(2)** Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981

**(3)** Mezger, C.: Der Wetterzug in seiner Bedeutung für die Kühlung der Grubenbaue, Glückauf 1921, S. 455 – 463

**(4)** Andre, W.: Betriebserschwerisse in tiefen Gruben, Glückauf 1922, S. 97 - 102

**(5)** Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 677 – 683

**(6)** Jansen, F.: Die Erwärmung der Wetter in tiefen Steinkohlengruben und die Möglichkeiten einer Erhöhung der Kühlwirkung des Wetterstromes, Glückauf 1927, S. 83 – 97

(7)Stočas,B. und Černik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 264 – 267

(8)Voerster,F.: Verfahren zur Abkühlung warmer Gruben, Reichspatentamt Patentschrift Nr. 353 547 vom 22.5.1922

(9)Auszug aus der Niederschrift über die 2. Sitzung des Arbeitskreises zur Bearbeitung von Fragen der Kraftwirtschaft unter Tage am 19. Januar 1940 im Dienstgebäude des Bergbau-Vereins, Essen; DBM/montan.dok/Bergbau-Archiv Bochum 157/885

### **Bilder:**

**Bild 1:** Wetterkühlung mittels Kälteverratskammern. Wetterweg in warmer Jahresperiode, Stočas,B. und Černik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 267

**Bild 2:** Wetterkühlung mittels Kälteverratskammern. Wetterweg in kalter Jahresperiode, Stočas,B. und Černik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 267

**Bild 3:** Schematische Anordnung der Kälteverratskammer, Sommerstrom, Stočas,B. und Černik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 268

**Bild 4:** Schematische Anordnung der Kälteverratskammer, Winterstrom, Stočas,B. und Černik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 268

## **7.1.3.5 Kühlung durch Eis**

### **7.1.3.5.1 Frühe Verwendung von Eis zur Wetterkühlung**

Bereits der römische Kaiser Varius Avitus (218 bis 222 n. Chr.) ließ in seinem Garten Berge von Schnee anhäufen, um sich im Sommer durch einen frischen Wind erfrischen zu lassen. Das dürfte die erste Klimaanlage gewesen sein (1).

Die Problematik hoher Temperaturen unter Tage taucht schon im 19. Jahrhundert auf. Herbst (2) und Kohl (3) berichten über das Gold- und Silberbergwerk auf dem Comstock-Gang im Washoe Mining District (USA), das in einem jungvulkanischen Gebiet baut und daher zur Teufe hin eine außergewöhnliche Temperaturzunahme aufweist. Die dort angewendete Eiskühlung wird unter **Punkt 6.1.1** beschrieben.

Die Verhältnisse auf dem Comstock-Gang waren einmalig und extrem. Die aufwändige und teure Bekämpfung der Temperaturschwierigkeiten war aber durch die hohen Gehalte von 33 g Gold/t und 0.8 kg Silber/t gerechtfertigt (3).

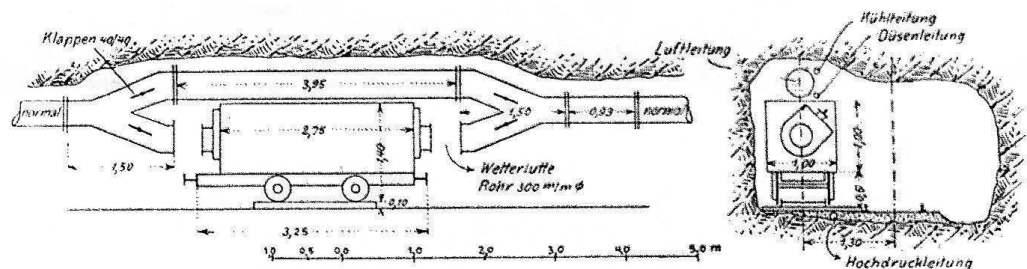
Beim Bau des Simplontunnels wurde ebenfalls – bei Gesteinstemperaturen deutlich über 50°C – Eis zur Beherrschung der Klimaverhältnisse eingesetzt.

Pressel beschreibt in der Schweizerischen Bauzeitung im Jahr 1906 (4) unter anderem das Verfahren zur Kühlung mit Eis.

Grundsätzlich wurde für den Vortrieb auf der Nordseite des Tunnels eine Sprühkühlung eingesetzt, siehe **Punkt 7.2.3.1**.

Zusätzlich wurde – vor allem wegen der durch die Sprühkühlung erhöhte relative Feuchtigkeit nahe der Sättigungsgrenze – für einige Monate eine zusätzliche Kühlung mit Eis betrieben (4).

Der Grundgedanke war, die mit Wasser gesättigte Luft so weit abzukühlen, dass ein Teil des darin enthaltenen Wassers kondensierte. Bei der Wiedererwärmung der Wetter war die relative Feuchte dann entsprechend geringer.



**Bild 1, Hilfsstation mit Eiswagen im Simplontunnel**

Pressel (4) beschreibt das eingesetzte Verfahren wie folgt (siehe auch **Bild 1**): „Die Kühlwasseranlage war zu Ende Mai 1902 in Betrieb gekommen und die damit erzielten Erfolge derart günstig, dass man von nun ab mit größerer Zuversicht an das weitere Eindringen in den Berg denken konnte. Neben den geschilderten umfassenden Maßnahmen zur Bekämpfung der Hitze im Berginnern hatte die Unternehmung aber die Vorsicht noch weiter getrieben. Es sollte für die Vortriebe noch eine besondere Einrichtung getroffen werden zur Kühlung der Luft vor Ort. Diese Einrichtung sollte die Beschaffung nicht bloß kühler, sondern auch trockener Luft ermöglichen. Wenn auch mit Hilfe der zur Stollenventilation verwendeten Wasserstrahlgebläse sehr günstige Luftverhältnisse geschaffen wurden, so war doch die Luft wegen der innigen Berührung mit sehr fein zerstäubtem Wasser beim Austritt aus dem Luftrohr nahe an der Sättigung. Wollte man sie relativ trockener haben, so musste ihr Gelegenheit gegeben werden, an einer ausreichend bemessenen Kühlfläche von sehr niedriger Temperatur vorbeizustreichen. Man hatte zu diesem Zweck eigene längliche Kasten auf Wagengestellen konstruiert, deren Inneres mit einer großen Zahl von Rohren durchzogen war. In den Rohren sollte Wasser zum Gefrieren gebracht werden. An den Verwendungsstellen wollte man dann die Luft sich an der Außenfläche der Rohre kühlen und ihren Überschuss an Wasser absetzen lassen. Zur Kälteerzeugung hatte man auf dem Installationsplatz unter Verwendung einer der vorhandenen Halblokomobilen,

die in einen Ammoniakkompressor verwandelt worden war, eine vollständige Lindesche Kälteanlage mit Solekühlung geschaffen.

Die mit Wagenachsen versehenen, vorzüglich isolierten Kühlkasten wurden in der Kälteerzeugungsanlage in den Stromkreis der Sole eingeschaltet, so dass diese die Rohre umspülte und das Wasser im Innern der Rohre in Eis verwandelte. Die fahrbaren Kühlkasten wurden dann von Sole entleert und mit den Tunnelzügen in den Tunnel gebracht. Dort schaltete man sie endlich in die Vortriebluftleitung ein.

Diese Anlage wurde im August 1902 in Betrieb genommen und entsprach den gehegten Erwartungen. Da aber mit der Wasserkühlung allein vorderhand vollkommen befriedigende Zustände zu erzielen waren und überdies die Handhabung der Eiswagen im Tunnel etwas umständlich erschien, so setzte man sie im Januar 1903 wieder außer Betrieb und behielt sie als Reserve für den Fall des Bedarfs.“

Das Verfahren wurde im großen und ganzen ziemlich ungünstig beurteilt, weil das Eis immer schon nach zwei Stunden verbraucht war und die Kühlwirkung in einer Entfernung von kaum 100 m wahrnehmbar war. Außerdem war die Verwendung des Eises beim Tunnelbau sehr teuer (5).

Ein weiterer Versuch, die Betriebspunkte mit Eis zu kühlen, wurde um 1914 auf der brasilianischen Goldgrube Morro Velho unternommen. Dadurch wurden die Wetter aber so feucht, dass die Arbeiter darum baten, den Versuch abzubrechen. Sie wollten lieber in heißen, trockenen als in feuchten, schwach gekühlten Wettern arbeiten (6).

In einem anderen Goldbergwerk, der Village Deep Mine am Witwatersrand in Südafrika, mit einer durchschnittlichen Teufe von rd. 2000 m Ende der 1920er Jahre herrschten Trockentemperaturen von etwa 28 bis 32°C und Nasswärmegrade von etwa 27 bis 32°C (3).

Um die Arbeitsbedingungen in etwa erträglich zu halten, wurde nach Kohl neben der Erhöhung der Wettermenge die Verwendung von Eis und eisgekühltem Wasser eingeführt. In den Vorrichtungsbetrieben wurde das Eis in den Vorderteil der Lutten gelegt, mit denen die Vortriebe blasend sonderbewettert wurden.

An der Luttenmündung erreichte man dadurch eine Temperatursenkung um 3 bis 4°C, in einer Entfernung von 15 m wurde eine Kühlung von etwa 1,4°C erzielt (3).

In Auf- und Abhauen ließ man Druckluft aus der Hilfsventilatorleitung auf Eis strömen, das nahe der Ortsbrust aufgehängt war.

In einer Reihe von Abhauen, durch die Wetter in die Abbaubetriebe geführt wurden, wurde eisgekühltes Wasser zerstäubt. Das Wasser wurde am Kopf der Abhauen in Behältern mit Eis von etwa 29°C auf etwa 7°C gekühlt und dann in Abständen von 6 bis 7m mit Hilfe von Streudüsen zerstäubt.

Trocken- und Nasswärmegrad nahmen allmählich ab, was mit der Ausbildung eines Kältemantels zu erklären ist (3). Auf den Aufbau und die Wirkung des Kältemantels wird unter **Punkt 7.1** eingegangen.



Die Trockentemperatur soll als Folge dieser Klimatisierungsmaßnahme um 3 bis 4°C und der Nasswärmegrad um 3°C verringert worden sein.

Die Kühlmaßnahmen mit Eis haben zweifellos gegriffen, es wurden bis zu 30 t Eis/Tag verbraucht. Anfang der 1930er Jahre wurde die Eiskühlung eingestellt, vermutlich weil der Einsatz von kleinen, lokalen Kältemaschinen erwogen wurde (3).

Stočas und Černik (5) gingen Anfang der 1930er Jahre grundsätzlich auf die Verwendung von Eis zu Kühlzwecken unter Tage ein. Bei der Kühlung durch das Eis wird sowohl dessen niedrige Temperatur als auch die darin enthaltene latente Wärme und die niedrige Temperatur des aus dem Eis erschmolzenen Wassers genutzt.

Die Überlegungen von Stočas und Černik bezogen sich dabei auf die traditionelle Verwendung des Eises, über das möglichst nahe vor Ort die Wetter geblasen werden, die sich dadurch abkühlen.

Diese Art der Eisverwendung hat nach Stočas und Černik (5) jedoch schwerwiegende Nachteile:

- Die Erzeugung des Eises über Tage ist an sich schon teuer.
- Der Transport des Eises nach vor Ort – Stočas und Černik gehen in einer Beispielrechnung von einem Bedarf von 48 kg Eis je Bergmann und Schicht aus – erfordert einen gewissen Aufwand.
- Beim Transport erwärmt sich das Eis bis nahe 0°C. Ein Teil des Eises geht sogar durch Schmelzen verloren.
- Unter Tage müssen zusätzliche Lüfter eingebracht werden, die die Wetter über das Eis blasen. Wenn dies nicht für jeden warmen Betriebspunkt gesondert geschehen soll, müssen die Kühleinrichtungen – in Form des Eises und des Lüfters – vor dem Verzweigungspunkt in mehrere Örter untergebracht werden. Um den Kühleffekt der Wetter sicherzustellen, sind sie durch isolierte Lutten den Betriebspunkten zuzuführen.

Neben der schlechten Wirtschaftlichkeit sehen Stočas und Černik (5) noch andere Aspekte der Wetterkühlung mit Eis, die besondere Beachtung verdienen:

- Am Anfang der Schicht ist reichlich Eis vorhanden mit der entsprechenden Kühlwirkung. Zum Ende der Schicht, wenn für die ermüdeten Bergleute die Kühlung besonders wichtig wäre, ist das Eis aufgebraucht, es sei denn, der Eisvorrat wird während der Schicht ergänzt.
- Das aus dem Eis entstehende Wasser beeinflusst das Klima durch Erhöhung der Feuchtigkeit negativ, allerdings mit der Einschränkung, dass bei einer sehr starken Abkühlung die Wetter ohnehin den Taupunkt erreichen werden und vollständig mit Wasserdampf gesättigt

sind.

In vielen Fällen werden die Wetter jedoch nicht ihre Sättigungsgrenze erreichen, so dass es sinnvoll ist, dafür zu sorgen, dass kein zusätzliches Wasser aus der Kühlung in die Wetter gelangen kann.

Stočas und Černik schlagen dazu vor, Eisstücke in ein Gefäß zu legen, unter dem ein Autokühlern ähnlicher Kühler angebracht ist, durch den die Wetter geleitet werden. Damit wäre die Trennung von Kälteträger und Wetter erreicht, durch den die zusätzliche Belastung der Wetter mit Wasserdampf vermieden wird.

- In den 1930er Jahren war die Technik mit Kühlmaschinen so weit entwickelt, dass sie in den meisten Fällen nach Stočas und Černik die bessere Alternative gegenüber der Verwendung von Eis war. Sinnvoll erschien ihnen die Verwendung von Eis nur in solchen Fällen, wo über Tage Eis im Winter zur Verfügung stand und zeitgleich unter Tage kleinere Arbeiten an warmen, schlecht bewetterten Betriebspunkten ausgeführt wurden, die genau auf die Winterszeit gelegt werden konnten.

Etwa Anfang der 1950er Jahre griff Battig (7) den Vorschlag der Kühlung mit Eis auf und empfahl, Eis in gut leitenden Metallbehältern vor Ort zu deponieren, damit einerseits die Kühlwirkung durch das schmelzende Eis genutzt werden kann, ohne dass andererseits die Wetter mit zusätzlichem Wasserdampf belastet werden.

#### **7.1.3.5.2 Nutzung des Eises als Kälteträger**

Anfang der 1980er Jahre beginnen in Südafrika konkrete Überlegungen, Eis als Kälteträger zu nutzen.

1982 (8) wird erstmals die Absicht der Rand Mines Group erwähnt, ein Forschungsvorhaben für das Goldbergwerk East Rand Proprietary Mines (ERPM) mit Eis als Kälteträger durchzuführen.

Das physikalische Prinzip, das der Verwendung von Eis als Kälteträger zugrunde liegt, ist wie folgt zu beschreiben (1): Eis hat eine Schmelzwärme von 334 kJ/kg und Wasser eine spezifische Wärmekapazität von 4,188 kJ/kgK. Somit ist die Schmelzwärme genauso groß wie die Wärme, mit der man Wasser um 80 K erwärmen kann ( $334 : 4,188 = 79,7$ ).

Wenn man davon ausgeht, dass Wasser in einem Wetterkühlssystem als Kälteträger im Mittel um 20 K erwärmt wird und dass das Eiswasser aus dem geschmolzenen Eis ebenfalls um 20 K erwärmt wird, so kann das Eis fünfmal so viel Wärme je Masseneinheit aufnehmen wie das Wasser.

Daraus folgt, dass man für den Massenumlauf des Kälteträgers Eis nur ein Fünftel gegenüber Wasser benötigt.

Nach Voß ist die Verwendung von Eis besonders dann von Bedeutung, wenn der Kälteträgerkreislauf geöffnet wird, das heißt der Kälteträger nicht in einem geschlossenen Kreislauf wieder zum Tage gefördert wird. Das kann bei der Kälteerzeugung über Tage nach Voß bei einer Teufe über 1.500 m sinnvoll sein, damit Drücke über 150 bar in den Rohrleitungen und Wärmetauschern vermieden werden (*1*).

Seit Beginn der 1980er Jahre wurden in Südafrika ernsthafte Überlegungen angestellt, im Primärkreislauf des Kühlsystems ausschließlich Eis zu verwenden, vor allem um Energie für das Heben zu sparen (*1*).

Ziel des bereits erwähnten Forschungsvorhabens für das Goldbergwerk ERPM war, Wetterkühlung in durchschnittlich 3.200 m Teufe mit einer sehr großen Kühlleistung durchzuführen (*1*). Dabei sollte sowohl die technische Machbarkeit als auch die Wirtschaftlichkeit eines Systems mit Eiszeugung untersucht werden.

Als besondere Vorteile, zum Teil ausgelöst durch den geringeren Massenumlauf, der Verwendung von Eis wurden genannt (*1*):

- Kleinere Rohre und Kabel im Schacht
- Weniger Wartungsaufwand unter Tage durch weniger Installationen
- Die Wasserqualität wird verbessert, weil das Wasser durch das Gefrieren entsalzt wird.
- Im Sekundärkreislauf werden sehr niedrige Wassertemperaturen nahe 0°C erreicht.

Ein wesentlicher Zweck bei der Verwendung von Eis sollte auf dem Bergwerk ERPM die Kühlung des Brauchwassers (Service water) sein, von dem wesentlich größere Mengen als im deutschen Steinkohlenbergbau verbraucht werden (*1*).

Die größte Unsicherheit bestand zunächst in den Möglichkeiten zur Förderung des Eises in Rohren, vor allem in söhligen Leitungen. Daher wurde zunächst auf ERPM eine Pilotanlage gebaut und eine Wirtschaftlichkeitsstudie für den Fall einer sehr großen Eisproduktion von etwa 5.000 t/d bzw. 10.000 t/d erstellt. Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsrechnung war, dass ein Kühlsystem einem solchen mit Wasser erst ab einer Teufe von über 3.000 m überlegen ist und dieser Kostenvorteil überproportional mit der Teufe steigt. Die Ursache liegt in dem bereits angesprochenen geringeren Massenstrom bei der Verwendung von Eis, der sich zur Teufe hin über die eingesparten Energiekosten überproportional auswirkt (*1*).

Basierend auf den Ergebnissen des Forschungsvorhabens wurde 1985 eine großtechnische Eiszeugungsanlage mit den dazugehörigen untertägigen Einrichtungen in Betrieb genommen. In der Eisanlage wurden rund 1.000 t Eis je Tag mit einer Temperatur von – 5°C nahezu kontinuierlich erzeugt. In der

Eiserzeugungsanlage wurden zunächst röhrenförmige Eisstücke erzeugt, die anschließend auf eine transportfähige Größe zerkleinert wurden. Das zerkleinerte Eis wurde mit Förderschnecken zum pneumatischen Fördersystem transportiert, mit dem es durch eine Schachttrohrleitung – isolierte PVC-Rohre von 200 mm Durchmesser - zu dem Eisschmelzbecken in 1.088 m Teufe gefördert wurde (*1*).

Der Wärmetausch erfolgte dann in einem Eismischbecken mit Wasser, das sowohl unter Tage als Gebirgswasser anfiel und in einem untertägigen Kühlturm vorgekühlt wurde als auch mit Frischwasser, das aus einem Stausee über Tage stammte. Das durch das Eis gekühlte Wasser wurde dann als Betriebswasser genutzt, das an den Betriebspunkten einen entsprechenden Kühleffekt ausübte (*1*).

Über die Wetterkühlung mit Betriebswasser im südafrikanischen Goldbergbau berichtet Wagner (*9*) ausführlich. Näher soll hier nicht darauf eingegangen werden; das Thema der Verwendung gekühlten Wassers in Südafrika war Gegenstand einer Veröffentlichung des Autors (*10*).

Auch aktuell wird die Technik der Eiskühlung im südafrikanischen Goldbergbau (Western Deep Levels Limited Gold Mine) noch angewendet. Sechs Vakuum-Eismaschinen der IDE Technologies Ltd. sind zur Zeit im Einsatz, im Frühjahr 2008 sollen drei zusätzliche hinzukommen (*11*). Die Maschinen arbeiten als Vakuummaschinen mit Direktkondensation (ECO-VIM – Vacuum Ice Maker with Direct Condensing) und erzeugen einen Eisbrei (Ice Slurry), der in Wärmetauschern die abzuführende Wärmemenge aufnimmt.

Die bereits angesprochene Tatsache, dass Eis auf Grund der latenten Wärme gegenüber Wasser geringere Massenströme erfordert und deshalb besonders für Einsatzbedingungen mit eingeschränktem Raumangebot geeignet ist, wurde, bezogen auf Schächte in Südafrika, bereits angesprochen.

Auf dem Bergwerk Niederberg war in den 1990er Jahren die Notwendigkeit aufgetreten, die Klimaverhältnisse im Streb zu verbessern (*12*).

Hintergrund war die Klimabelastung durch die zunehmende Gewinnungsteufe und die Konzentration auf wenige Betriebspunkte mit hohen Förderungen und installierten Maschinenleistungen. Durch die geringen Flözmächtigkeiten auf dem Bergwerk Niederberg mit entsprechend begrenzten Wettermengen durch die Abbaubetriebe wurde es schwieriger, die Klimatisierungsziele mit alleiniger Kühlung in den Abbaubegleitstrecken zu erreichen (*12*).

Auf dem Bergwerk wurden daher Betriebsversuche in einem Streb mit Kleinkühlern zur Strebklimatisierung durchgeführt. Wegen der geringen Flözmächtigkeit von 0,75 m mussten die Strebkühler sehr kompakt ausgeführt sein; um trotzdem eine ausreichende Kühlleistung erzielen zu können, wurde als Kälte Träger ein Wasser-Eis-Gemisch eingesetzt, dem Frigur beigemischt war, ein Mittel auf Glukosebasis, das den Gefrierpunkt auf etwa  $-1,5^{\circ}\text{C}$  absenkte. Die Eiserzeugungsanlage bestand aus einem Kaltwassersatz zur Erzeugung der Gesamtkälteleistung, einem Wärmetauscher, in dem das vom Streb zurückkommende Wasser-Eis-Gemisch auf etwa  $0^{\circ}\text{C}$  herabgekühlt

wurde und einem Eisgenerator, in dem aus dem Kälte­träger so viel Wärme entzogen wurde, dass eine Eiskonzentration von etwa 40% erreicht werden konnte (12).

Der Kälte­träger wurde durch den Mantelraum der Strebkühler geführt, durch dessen Innenraum die zu kühlenden Wetter strömten.

Die Strebkühler wurden im oberen Strebteil im Abstand von drei Schilden montiert. Zusammen mit einer herkömmlichen Kühlung des Einziehstromes konnte die Trockentemperatur, die auf dem Weg bis zu dem Strebteil mit Zusatzkühlung auf etwa 33°C gestiegen war, in dem mit den Strebkühlern versehenen Teil auf unter 28°C gedrückt werden. Obwohl die Kühlleistung der 16 eingesetzten Strebkühler – mit 5,5 kW Kühlleistung je Kühler – mit insgesamt 88 kW relativ gering war, konnte auf Niederberg der Nachweis erbracht werden, dass auch mit relativ geringen Kühlleistungen gute Klimatisierungserfolge erzielt werden konnten; im wesentlichen war das auf den hohen Standortwirkungsgrad der Strebkühler zurückzuführen und auf die Tatsache, dass wegen der Trennung der Wetterströme im Streb – bedingt durch die Geometrie der maschinellen Einrichtungen – die Kühlleistung fast ausschließlich den Wettern im Fahrfeld zugute kam (12).

Das Verfahren mit der Eiserzeugung unter Tage wurde später noch auf dem Bergwerk Blumenthal/ Haard eingesetzt.

#### **7.1.3.5.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

*Die Verwendung von Eis für die Klimatisierung von Gruben war zunächst eine sehr naheliegende Maßnahme, vor allem, wenn natürliches Eis zur Verfügung stand.*

*Der Einsatz von Eis für die Klimatisierung erfolgte in drei Stufen:*

- *zunächst so, dass es vor Ort bereitgestellt wurde und sich die Bergleute bedienen konnten*
- *im nächsten Schritt wurde Eis möglichst nah zu den Betriebspunkten gebracht und Wetter darüber geblasen, die sich dabei abkühlten*
- *Später wurde Eis als Kälte­träger verwendet, der auf Grund seiner latenten Wärme und seiner niedrigen Temperatur da sinnvoll einzusetzen ist, wo wegen beengter Verhältnisse gegenüber flüssigem Wasser geringere Massenströme bewegt werden sollen.*

*Die direkte Nutzung des Eises unter Tage war sehr teuer , und das Grubenklima wurde durch die zusätzliche – aus dem Eis stammende – Wasseraufnahme durch die Wetter zusätzlich belastet.*

*Es wurde daher schon früh vorgeschlagen, Eis und Wetter durch die Verwendung von Kühlern voneinander zu trennen. Das geschah schon beim Vortrieb des Simplontunnels Anfang des 20. Jahrhunderts. Bei den Tunnelbauarbeiten wurde wegen der hohen Gebirgstemperaturen und der dadurch bedingten Wettererwärmung eine Sprühkühlung eingesetzt. Der daraus resultierenden hohen relativen Feuchtigkeit wurde durch ein Kühlverfahren mit Eis entgegengewirkt. Das Verfahren war erfolgreich, wurde jedoch nur kurze Zeit angewandt, weil die Sprühkühlung alleine als ausreichend angesehen wurde. Außerdem wurde das Verfahren als zu teuer und zu wenig nachhaltig beurteilt.*

*Verfahren mit Eis als Kälte Träger waren durchaus erfolgreich und werden auch aktuell noch angewendet. Vor allem die Pumpkosten können durch die geringere Menge an Kälte Träger erheblich gesenkt werden, wenn der Kälte Träger Kreislauf unter Tage geöffnet wird. Das wirkt sich besonders bei großen Teufen aus.*

#### **Literatur:**

- (1) Voß, J.: Die Verwendung von Eis zur Wetterkühlung, Glückauf 1987, S. 360 - 367
- (2) Herbst, F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 429 - 436
- (3) Kohl, E.: Eis- und Kältemaschinen im Dienste des Bergbaus, Zeitschrift für die gesamte Kälteindustrie 1934, S. 42 - 45
- (4) Pressel, K.: Die Bauarbeiten am Simplontunnel, Schweizerische Bauzeitung 1906, S. 249 - 313
- (5) Stočes, B. und Černik, B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 279 - 281
- (6) Winkhaus, H.: Die Wetter-Kühlanlage der brasilianischen Grube Morro Velho, Glückauf 1922, S. 1197 - 1201
- (7) Battig: Gutachten zu Klimafragen im Ruhrbergbau, undatiert; DBM/montan.dok/Bergbau-Archiv Bochum 16/2304
- (8) Burrows, J.; Hemp, R.; Holding, W.; Stroh, R.M.: Environmental Engineering in South African Mines, Mine Ventilation Society of South Africa, Cape Town 1982
- (9) Wagner, H.: The challenge of deep-level mining in South Africa, Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy, vol. 86, no. 9, Sept. 1986, Seiten 377 - 392
- (10) Schacke, V.: Anfänge und Entwicklung der Wetterkühlung weltweit, Bergbau 2088, S. 17 - 21
- (11) Ophir, A.: Energy Efficient Vacuum Ice-Maker using Water as Refrigerant for thermal Storage and Heat Pumps, [www.districtenergy.org](http://www.districtenergy.org)
- (12) Sander, R.; Hake, M.; Gonswa, M.: Strebklimatisierung mit einem Wasser-Eis-Gemisch, Glückauf 1994, S. 430 - 437

## **Bilder:**

**Bild 1** Hilfsstation mit Eiswagen im Simplontunnel, Pressel, K.: Die Bauarbeiten am Simplontunnel, Schweizerische Bauzeitung 1906, S. 253

## **7.2 Klimatisierung**

### **7.2.1 Druckluftkühlung**

#### **7.2.1.1 Das Dietzsche Kühlverfahren**

Ende des 19. Jahrhunderts hatte Tübben **(1)** bereits einen Vorschlag gemacht, bei dem mit Hilfe von expandierender Druckluft Berieselungswasser gekühlt werden sollte, siehe auch **Punkt 6.2.1.3**.

Im Jahr 1911 stellte Dietz in seinem Buch „Ist es möglich, die Gruben-Temperatur vor Ort dauernd unter 28°C zu halten?“ **(2)** die Idee einer „Luftturbine“ vor.

Dietz beschreibt das Verfahren so, dass ein Teil der frischen Wetter über Tage komprimiert und dann die verdichtete Luft nach der Kühlung in einer besonderen Kühlanlage, wobei sie weitgehend getrocknet wird, der Luftturbine genannten Kaltluftmaschine zugeführt wird.

In der Luftturbine dehnt sich die Luft unter Leistung von Arbeit und Annahme tiefer Temperaturen wieder auf den atmosphärischen Druck aus.

Die so gewonnene kalte Luft wird durch eine isolierte Lutte bis zum Schachtfüllort geleitet und dort mit den wärmeren Wetter, die durch den Schacht eingezogen sind, gemischt **(2)**.

Die dadurch kühleren Wetter sollten nach Dietz die Auskühlung der Grube beschleunigen und bewirken, dass die Wettertemperaturen vor Ort unter 28°C Trockentemperatur blieben.

Für die Kühlung der komprimierten Luft zwischen dem Kompressor und der Luftturbine schlägt Dietz zwei Verfahren vor:

- die von Dietz als indirekte bezeichnete Methode mit Einsatz einer Kaltdampfmaschine, deren Funktionsweise von Rossenbeck und Rath **(3)** ebenfalls beschrieben wurde.
- die von Dietz als direkte Methode bezeichnete Verwendung eines Teiles der aus der Luftturbine ausströmenden kalten Luft.

Nach dem ersten Weltkrieg wurden dann auf der Zeche Radbod tatsächlich Versuche mit der Dietzchen Luftturbine unternommen, über die Winkhaus (4) 1922 berichtet.

Die Versuchsanordnung ging davon aus, dass das Dietzsche Verfahren bei der Sonderbewetterung heißer Betriebe eingesetzt werden sollte, weil eine Kühlung des gesamten Grubengebäudes weder möglich noch von den bergpolizeilichen Bestimmungen gefordert wurde.

Nach Winkhaus wurde hinter die Luftturbine ein Ventilator gehängt, der die expandierte kalte Luft sofort mit den warmen Wettern mischen sollte. Die Druckluft trieb eine Turbine der A.E.G. – die das Dietzsche Patent angekauft hatte - mit 550 mm Laufraddurchmesser an, die ihrerseits mit dem nachgeschalteten Ventilator gekuppelt war. Die dabei verbrauchte Leistung, durch die die Abkühlung der expandierenden Luft erfolgte, wurde über einen Torsionsindikator gemessen.

Die Eintrittstemperatur betrug  $46^{\circ}\text{C}$  und die Austrittstemperatur der in der Luftturbine expandierten Luft  $-6^{\circ}\text{C}$  (4). Dadurch war das Turbinengehäuse bereits nach drei Betriebsstunden so mit Schnee angefüllt, dass sich Betriebsstörungen ergaben. Nach Winkhaus müsste der Druck der in die Luftturbine eintretenden komprimierten Luft so bemessen sein, dass die Expansionstemperatur über  $1^{\circ}\text{C}$  bleibt.

Winkhaus berichtet, dass bei der Versuchsanordnung mit dem höchsten Wirkungsgrad in der Luftturbine nur etwa 25% der für die Luftverdichtung im Kompressor aufgewendeten Leistung wiedergewonnen wurden.

Mit den damals geltenden Preisen errechnet Winkhaus daraus für einen sonderbewetterten Betrieb Kosten von 71.- Mark je Mann und Schicht.

Bei diesen Kosten war ein wirtschaftlicher Einsatz der Dietzchen Luftturbine nicht möglich (4).

### **7.2.1.2 Kühlung und Trocknung der Druckluft**

Herbst (5) greift 1920 die Dietzchen Vorschläge auf und verweist auf den positiven Einfluss der Drucklufttrocknung, ausgelöst durch die Druckluftkühlung nach dem Kompressionsvorgang.

Herbst (5) wertet die dadurch erreichte Verringerung der Dampfsättigung der Wetter als wichtiges Instrument zur Beherrschung der Klimaschwierigkeiten.

In diesem Zusammenhang berichtet Biermann (6) im Jahr 1930 über eine Druckluftkühlanlage auf dem Bergwerk Monopol mit der anschließenden Verwertung der der komprimierten Druckluft entzogenen Wärme.



Biermann berichtet, dass vor Einführung des neuen Systems die Druckluft auf der Schachanlage Grillo 3 der Zeche Monopol mit einer Temperatur von etwa 120°C durch den einziehenden Schacht in die Grubenbaue geleitet wurde, wobei die heiße Druckluft in ihrem Verlauf 850.000 – 900.000 kcal/h an die einfallenden frischen Wetter abgab. Dadurch wurden die Wetter um etwa 6°C erwärmt.

Durch eine „Pressluftkühlanlage“ wurde die komprimierte Luft von 120°C auf 40°C gekühlt (6). Das zur Kühlung eingesetzte Wasser wurde dabei in den Sommermonaten von 30°C auf 65°C erwärmt und in den Wintermonaten, wegen der Zuführung geringerer Kühlwassermengen, auf 85°C. Das Warmwasser wurde zu den Betriebsgebäuden und Waschkauen geleitet, wo es über Wärmetauscher zur Raumheizung genutzt wurde. Das Wasser kühlte in den Wärmetauschern in den Sommermonaten von 65°C auf 45°C und im Winter von 85°C auf 65°C ab und wurde für Badezwecke genutzt.

Nach Biermann ergab sich, neben den Vorteilen für das Grubenklima und die Energiewirtschaft durch die Wasserabscheidung mit der Druckluftkühlung, ein wärmewirtschaftlicher Gewinn von 25.000 – 30.000 Mark je Jahr.

Sowohl unter energiewirtschaftlichen und Gründen der Klimaverbesserung erschien es sinnvoll, bereits über Tage der Druckluftkühlung eine Drucklufttrocknung nachzuschalten.

Von Breitenstein, Göricke und Tümmers (7) berichten über den erfolgreichen Einsatz einer Druckluftkühl- und -trockenanlage auf der Zeche Prosper I; erste Versuche hatten Ende der 1940er Jahre begonnen.

Die den Kompressoren nachgeschaltete Lufttrocknungsanlage bestand aus einem Kühler mit einem dahinter geschalteten, entsprechend bemessenen Beruhigungs- und Wasserabscheidebehälter.

Ziel war es (7), eine möglichst vollständige Wasserabscheidung über Tage zu erzielen, durch die zusätzliche Wasserabscheider in der Grube überflüssig wurden.

Da die Druckluft auf ihrem Weg durch das Leitungsnetz keiner weiteren Abkühlung ausgesetzt war, trat in der Grube tatsächlich keine Nachkondensation ein.

Die durch die Trocknung abgeschiedene Wassermenge wurde bei sommerlichen Verhältnissen mit 43 m<sup>3</sup> je Tag angenommen (7).

Aus den durchgeführten Versuchen ergab sich die beste Wasserabscheidung bei einer Drucklufttemperatur von < 23°C und einer Durchströmgeschwindigkeit von < 0,3 m/s.

Aus wetter- und klimatechnischer Sicht sahen die Autoren (7) die Vorteile der Druckluftkühlung und -trocknung darin, dass die Wetter nicht durch warme Druckluftleitungen erwärmt wurden, das galt besonders auch für den Einziehschacht, und die aus den Arbeitsmaschinen ausströmende trockene und entspannte Druckluft eine entsprechende Kühlstärke entwickelt.

Bolenius (8) berichtet in diesem Zusammenhang über zwei nebeneinander liegende 800 m tiefe Einziehschächte, von denen der mit einer Leitung

versehene Schacht, durch die ungekühlte Druckluft strömte, im Füllort eine um 8°C höhere Temperatur aufwies als der andere, in dem keine Druckluftleitung verlegt war.

Grundsätzlich ist als Alternative die Verlegung der Druckluftleitung – mit ungekühlter Druckluft – in einen Ausziehschacht denkbar. Fritzsche (9) berichtet 1935 jedoch, dass viele Schachtanlagen die Aufnahme der Hauptdruckluftleitungen in einen Ausziehschacht vermieden, hauptsächlich wohl wegen der verstärkten Korrosion auf Grund der höheren Feuchtigkeit und den dadurch erforderlichen aufwändigen Korrosionsschutzmaßnahmen.

Häufig hatten die Ausziehschächte geringere Querschnitte als die Einziehschächte, so dass die Leitungen darin schwerer unterzubringen waren; teilweise war auf den Hauptanlagen kein Ausziehschacht vorhanden (9).

Nach Fritzsche war die warme Druckluft einerseits wetter- und klimatechnisch belastend; andererseits nutzten einige Bergwerke die warme Druckluftleitung im Einziehschacht im Winter als Schachtheizung.

Die Alternative zur zentralen Drucklufttrocknung stellen nach Bolenius (8) die Wasserabscheider dar, die unter Tage in das Rohrleitungsnetz eingebaut werden, wobei in den meisten Fällen lediglich leere Behälter oder Rohrerweiterungen vorgesehen waren.

Durch die damit erzielten Querschnittserweiterungen verringert sich die Strömungsgeschwindigkeit der Druckluft, und das Wasser scheidet sich als Tropfen aus der mit Feuchtigkeit übersättigten Druckluft aus.

Als aufwändigere Verfahren nennt Bolenius die Wasserabscheider, die durch Nutzung der Fliehkraft die Wasserteilchen aus dem Luftstrom herausklopfen und die Abscheider, bei denen die feuchte Druckluft an hygroskopischen Stoffen, zum Beispiel Silika-Gel, vorbeigeleitet werden. Nachteil des zweiten Verfahrens ist die erforderliche Regenerierung der hygroskopischen Stoffe durch Erhitzen, sobald sie mit Wasser gesättigt sind.

### **7.2.1.3 Kühleffekt durch Druckluftmaschinen**

Die oben bereits angesprochene Luftturbine von Dietz war ein früherer Vorschlag zur Nutzung des Kühleffektes durch eine Druckluftmaschine (2).

Schon früh war deutlich, dass die einfache Expansion der Druckluft noch nicht die Abkühlung der Wetter bewirkt, wie Winkhaus 1922 schreibt (10). Nach Winkhaus wird nur ein Teil der im Kompressor zur Verdichtung der Luft aufgewandten Arbeit durch die nachgeschaltete Kühlung unschädlich gemacht; der Rest der aufgewandten Energiemenge bleibt latent in der komprimierten Luft.

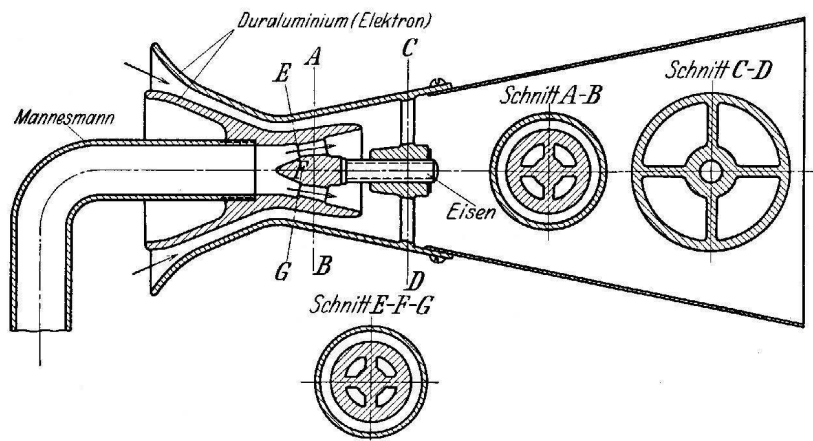
Erfolgt die Expansion der Druckluft nicht unter der Leistung von Arbeit, wird dieser Teil wieder in Wärme umgewandelt (Thomsen–Joule-Effekt).

Schulz (*11*) stellt im Jahr 1926 dar, dass die für Arbeitsmaschinen genutzte Druckluft eine dreifache Wirkung auf die Klima- bzw. Wetterverhältnisse ausübt:

1. Durch die bereits erwähnte Expansion der Druckluft tritt eine direkte Kühlwirkung ein, wenn dabei Arbeit geleistet wird. Die Wirkung ist nach Schulz bei Maschinen, die der söhlichen Förderung dienen – Druckluftlokomotiven, Schüttelrutschen, Bandförderer usw. – oder die Zerkleinerungsarbeit leisten – Schrämmaschinen, Bohrmaschinen usw. – relativ gering, weil fast die gesamte Druckluftarbeit über Reibung in Wärme verwandelt wird. Größer ist die Kühlwirkung von Druckluftmaschinen, mit denen ein Niveau höherer potentieller Energie erreicht wird, zum Beispiel Fördermaschinen oder Pumpen.
2. Durch die ausströmende Druckluft wird die Wettermenge und damit die Wettergeschwindigkeit erhöht. Schulz (*11*) errechnet in einem Modell, auf der Basis des damals hohen Druckluftverbrauches, eine Erhöhung der Wettermenge um 16%, schwerpunktmäßig in den Teilen des Grubengebäudes, in denen viel Druckluft verbraucht wird, zum Beispiel im Abbau, und in denen die Wettervermehrung unter klima- und wettertechnischen Gesichtspunkten auch besonders erwünscht ist. Die damit erhöhten Wettergeschwindigkeiten verbessern die Kühlwirkung der Wetter.
3. Die Kühlwirkung der Wetter wird nach Schulz (*11*) zusätzlich dadurch erhöht, dass die ausströmende Druckluft, der man vorher einen großen Teil ihres Wassergehaltes entzogen hat, den Feuchtigkeitsgehalt der Wetter verringert und dadurch deren Kühlstärke erhöht.

Stoces und Cernik (*12*) machten Anfang der 1930er Jahre zwei Vorschläge, durch die mit Hilfe der Druckluft die Arbeitsbedingungen der Bergleute unter klimatischen Gesichtspunkten verbessert werden sollten.

Als Vorrichtung für eine lokal begrenzte Erhöhung der Wettergeschwindigkeit und Beimischung der Druckluft aus dem Netz entwickelten Stoces und Cernik eine regulierbare Bewetterungsdüse, siehe **Bild 1**, die auf einem Stativ montiert werden konnte.



**Bild 1: Regulierbare Bewetterungsdüse**

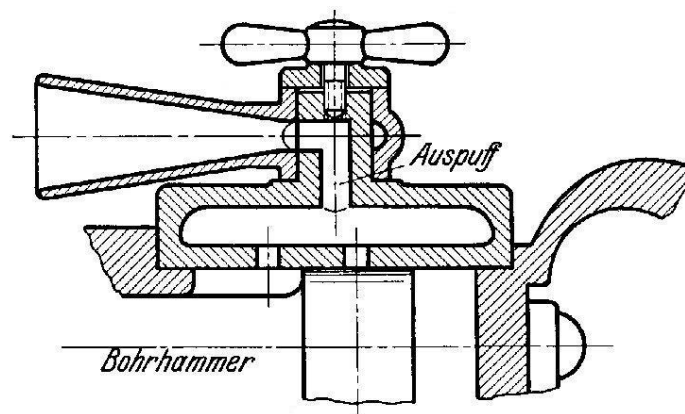
Die Bewetterungsdüse wirkte in der schon von Schulz beschriebenen Weise, dass sie durch Zumischung der Druckluft die Wettermenge und – geschwindigkeit erhöhte.

Bei dem zweiten Vorschlag von Stoces und Cernik (12) wird ausgenutzt, dass die aus einer Arbeitsmaschine entwichene, expandierte Druckluft eine niedrige Feuchtigkeit, zunächst eine geringe Temperatur und große Geschwindigkeit hat. Außerdem fällt sie direkt an den Arbeitsorten an.

Allerdings entweicht die Luft aus den Arbeitsgeräten häufig in eine andere Richtung als die, in der die Bergleute arbeiten.

Stoces und Cernik schlagen daher vor, die aus dem Bohrhammer entweichende Druckluft aufzufangen und über einen Schlauch zu einem Endstück, das auf einem transportablen Dreibein montiert ist, zu leiten, aus dem sie in Richtung der Bergleute ausströmt.

Alternativ schlagen sie eine direkte auf den Bohrhammer geschraubte Düse vor, siehe **Bild 2**, die die entweichende Druckluft am Auspuff des Bohrhammers auffängt und über eine Düse in Richtung der Bergleute lenkt.



**Bild 2: An einem Bohrhammer angesetzte Bewetterungsdüse**

Durch alle Maßnahmen konnten die grundsätzlichen Nachteile der Druckluft nicht beseitigt werden.

Bereits Peter *(17)* beschäftigt sich 1956 mit dem energetischen Ausnutzungsgrad der Druckluft, der nach seinen Ausführungen zwischen 11 und 20% liegt.

Damit ist das Verhältnis zwischen der an der Antriebswelle der Druckluftmaschine wirkenden Arbeit und der an der Kompressorwelle aufgewendeten Arbeit gemeint *(17)*.

Eine besondere Rolle spielen die Verluste im Druckluftverteilungsnetz, die nach Schlitt und Püttmann eine Größenordnung von 40% erreichen können *(18)*.

#### 7.2.1.4 Kaltluftmaschinen

Da die Druckluft die klassische Energie zum Antrieb der Bergwerksmaschinen und auf jedem Bergwerk verfügbar war, lag der Gedanke nahe, auch die Wetterkühlung vom Druckluftnetz aus zu betreiben.

Wie bereits oben erwähnt, verlässt die expandierte Druckluft die Maschine mit niedriger Temperatur, so dass jede Druckluftmaschine eine Kombination aus Arbeits- und Kühlmaschine ist – mit den oben gemachten Einschränkungen.

Die meisten Erfindungen auf dem Gebiet der Kaltluftmaschinen beruhten daher auf dem Prinzip der Entspannung verdichteter Luft.

Martin *(13)* beschreibt im Jahr 1939 die Luftturbine der Gutehoffnungshütte, **Bild 3**, die ein Gebläse antreibt. Das Gebläse verdichtet eine gewisse Menge angesaugter Wetter, um Arbeit zu verrichten, und schickt die warmgeblasenen Wetter durch eine Rohrleitung direkt in die Ausziehwege, ohne die Abbaustrecke zu belasten.

Die kalte Auspuffluft der Turbine wird dem Wetterstrom kurz vor dem Abbauort beigemischt und wirkt somit unmittelbar vor Ort.

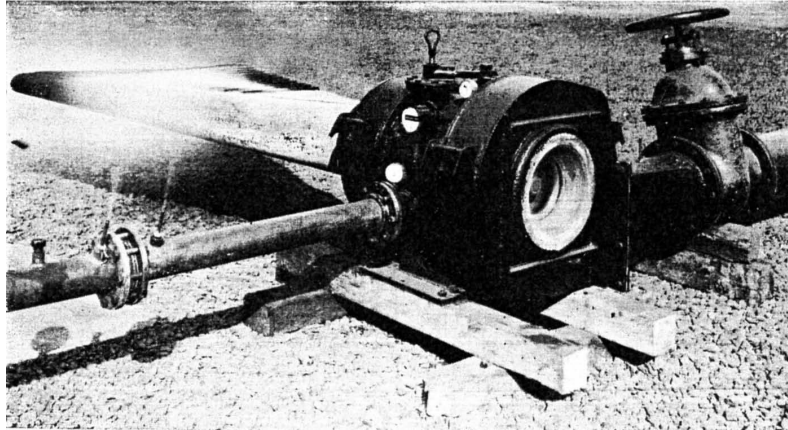


Bild 3: Luftturbine der Gutehoffnungshütte

Hoffmann (14) berichtet, dass ab 1929 die erste Kaltluftmaschine mit Turboverdichter in den Daggafontein Mines, Goldbergwerke der Anglo-American Corporation of South Africa, Johannesburg, im Einsatz war. Mitte der 1930er bis Ende der 1940er Jahre sind nach Hoffmann dann dort zehn Kaltluftmaschinen betrieben worden.

Für diesen Einsatz hat nach Martin (13) die Demag im Zusammenhang mit der Lieferung ihrer großen Turbokompressoren nach Südafrika ein Kühlverfahren entwickelt, das mit Überverdichtung und zweimaliger Entspannung der Druckluft arbeitet.

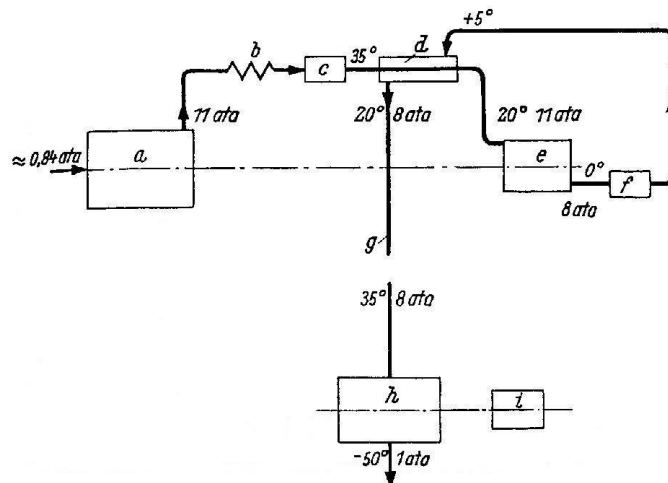


Bild 4: Klimaanlage in einem Bergwerk mit Kaltluftmaschine

Das Schema einer solchen Kaltluftmaschine, siehe Bild 4, wird von Plank (15) wie folgt beschrieben: „Der Turboverdichter a ist an der Erdoberfläche aufgestellt. Er verdichtet die Luft von dem herrschenden Atmosphärendruck (etwa 0,84 at abs) auf 11 at abs [Anm.: 1 at = 0.1 Mpa]. Die verdichtete Luft

tritt durch den mit Kühlwasser beschickten Kühler **b** mit dem Wasserabscheider **c**, den sie mit etwa 35° verlässt. Sie wird dann durch einen Hochdruck-Wärmeaustauscher **d** geleitet, in dem sie weiter auf etwa 20° abgekühlt wird, um nun in einer Luftturbine **e**, die mit dem Turboverdichter **a** unmittelbar gekuppelt werden kann, unter äußerer Arbeitsleistung so weit ausgedehnt zu werden (auf etwa 8 at abs), dass ihre Temperatur auf 0° absinkt. Dabei scheidet sich fast alles in der Luft enthaltene Wasser in dem Abscheider **f** aus. Die kalte und etwas entspannte Luft geht nun im Gegenstrom durch den Wärmetauscher **d**, aus dem sie mit 20° und 8 at abs in den Schacht geleitet wird. Der Druckabfall, der durch die Strömungswiderstände im Fallrohr **g** entstehen könnte, wird durch die Selbstverdichtung (Luftsäule) aufgehoben, so dass die Luft mit etwa 35° und 8 at abs zu den Druckluftmotoren **h** am Arbeitsplatz gelangt.“

Voraussetzung für den Erfolg des Verfahrens war nach Plank (**15**), dass die Druckluft vor der Expansion sehr gut getrocknet wird, da sonst Vereisungsgefahr besteht.

Die Druckluftmotoren müssen mit sehr hohem Wirkungsgrad, also möglichst vollständiger Ausdehnung, arbeiten.

Als Druckluftmotoren kamen Pfeilradmotoren der Demag zum Einsatz, die für Leistungen bis 400 PS gebaut wurden (**15**). Die Druckluft verließ den Pfeilradmotor mit einer Temperatur von – 50°C.

Kaltluftmaschinen sind nur sehr vereinzelt eingeführt worden, vor allem wegen des schlechten thermischen Wirkungsgrades und der Schwierigkeit, das der Entspannungskälte entsprechende Äquivalent an mechanischer Leistung oder Wärme abzuführen (**16**).

Einer der Einzelfälle war der Einsatz einer GHH-Wetterkühlanlage auf der Zeche Werne, über den Weuthen (**16**) im Jahr 1958 berichtet.

Bei der Auffahrung einer Richtstrecke auf der 850m-Sohle waren auf der Zeche Werne Klimaschwierigkeiten aufgetreten.

Wegen der Bedeutung der Strecke und des Zeitdrucks wurde von der Zechenleitung beschlossen, eine Wetterkühlanlage einzubauen (**16**).

Für die Auswahl des Kühlverfahrens war entscheidend, dass in der Strecke weder Kühlwasser noch elektrischer Strom zur Verfügung standen; deshalb fiel die Wahl auf die Wetterkühlanlage der Gutehoffnungshütte, die nach dem Prinzip der Kaltluftmaschine arbeitete.

Die GHH-Wetterkühlanlage stellte im Hinblick auf die Wärmeabfuhr eine besondere Form der Kaltluftmaschine dar (**16**), weil sie die der Entspannungskälte äquivalente Wärme in die Abwetter abgab und deshalb ohne Kühlwasser auskam.

Voraussetzung war nach Weuthen jedoch, dass das vordere Streckenstück so abgedämmt wurde, dass beiderseits des Dammes ein Druckunterschied aufrechterhalten werden konnte.

Im Gegensatz zu einer Verdampfungskältemaschine, bei der das Kältemittel in einem geschlossenen Kreislauf geführt wird, ist bei einer Kaltluftmaschine die Luft das Kältemittel (**16**).

Bei der GHH-Anlage werden nach Weuthen die einziehenden Wetter in einer Turbine unter Arbeitsabgabe auf einen geringeren Druck entspannt und dadurch gekühlt. Die Wetter werden dann durch eine Lutte dem Streckenvortrieb zugeführt. In diesem abgedämmten vorderen Streckenteil herrscht ein ständiger Unterdruck.

Ein Gebläse saugt die Abwetter dann aus dem vorderen Streckenteil ab und verdichtet sie auf den Druck, der außerhalb des Dammes herrscht. Die verdichteten und erwärmten Wetter werden durch eine Lutte dem Abwetterstrom zugeführt.

Die Antriebsleistung für das Gebläse zum Absaugen und Verdichten der Abwetter wird zum Teil durch die Turbine, als für den Kühleffekt erforderliche Arbeit, und zum Teil durch einen Druckluftmotor aufgebracht.

Die aus dem Druckluftmotor entweichende, gekühlte Luft wird dem Einziehstrom zur zusätzlichen Kühlung beigemischt.

Die Anlage war auf der Zeche Werne ortsfest eingebaut, entsprechend mussten nur die Leitungen mit dem Vortrieb verlängert werden.

Nach Weuthen (16) lag die maximale Kälteleistung der GHH-Wetterkühlanlage bei 90.000 kcal/h.

Als weiteren Vorteil sieht Weuthen den verringerten Luftdruck vor Ort, der die Schweißverdunstung der Bergleute begünstigt.

### **7.2.1.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

*Druckluft wurde Ende des 19. Jahrhunderts und zu Beginn des 20. Jahrhunderts vermehrt für den Antrieb von Maschinen eingesetzt. Voraussetzung war, dass die Möglichkeit der Druckluftherzeugung und die Infrastruktur für die Verteilung der Druckluft geschaffen wurden.*

*Es entstand daher schon früh der Gedanke, auch auf den tiefen Gruben des östlichen Ruhrreviers, das Druckluftsystem für Kühlzwecke zu nutzen.*

*Der unmittelbare Effekt ergab sich aus der Erhöhung der Wettermenge und damit – geschwindigkeit durch die aus den Arbeitsmaschinen ausströmende verbrauchte Druckluft. Damit erhöhte sich die Kühlstärke der Wetter.*

*Um den positiven Einfluss durch die Druckluft auf das Klima weiter zu verstärken, wurde zunächst die Kühlung der komprimierten Druckluft hinter dem Kompressor eingeführt. Dabei wurde auf dem Bergwerk Monopol durch die Nutzung der Abwärme schon früh im Sinne einer optimalen Energienutzung die Abwärme zu Heizzwecken genutzt.*

*Physikalisch zwangsläufiger Nebeneffekt der Druckluftkühlung war die Drucklufttrocknung.*



*Die Wirkung der Druckluft, der Kühlung und Trocknung, auf die Klimaverhältnisse wurden schon früh erkannt.*

*Die Wärmebelastung der Wetter in Einziehschächten mit Hauptdruckluftleitungen wurde erheblich verringert, wenn die Druckluft gekühlt wurde.*

*Die getrocknete Druckluft führte nach dem Ausströmen zu einer Verringerung der Feuchtigkeit der Wetter und damit zu einer Erhöhung der Kühlstärke.*

*Schon früh wurde erkannt, dass expandierte Druckluft eine kühlende Wirkung nur dann entfaltet, wenn mit ihrer Hilfe Arbeit verrichtet wird; eine dauerhafte Wirkung nur dann, wenn ein Niveau höherer potentieller Energie erreicht wird.*

*Jede Druckluftmaschine ist daher zunächst eine Kombination aus Arbeitsmaschine und Kühlmaschine, wobei jedoch der eigentliche Zweck dieser Maschinen die Leistung von Arbeit ist.*

*Die Klimatisierung mit Hilfe der Druckluft steht bei den Kaltluftmaschinen im Vordergrund, die Leistung von Arbeit ist dabei nur ein Nebenprodukt.*

*Bereits 1911, zu einem Zeitpunkt, zu dem die wissenschaftliche und betriebliche Beschäftigung mit der Kühlung durch Druckluft noch am Anfang standen, machte Dietz bereits einen Vorschlag für eine Kaltluftmaschine.*

*Diese und auch die späteren Erfindungen auf dem Gebiet der Kaltluftmaschinen beruhen auf dem Prinzip der Entspannung verdichteter Luft.*

*Kaltluftmaschinen haben gegenüber Kaltdampfmaschinen den Vorteil, dass sie sehr einfach aufgebaut sind. Sie sind auch nicht auf die Verfügbarkeit elektrischen Stromes angewiesen, was bis in die 1950er Jahre eine wichtige Rolle spielte, weil viele Bergwerke im Ruhrrevier unter Tage noch nicht vollständig elektrifiziert waren.*

*Kaltluftmaschinen können für die Verteilung des Kältemediums Luft die vorhandene Druckluftinfrastruktur nutzen, eventuell mit zusätzlicher Isolierung der Rohrleitungen. Die Kälte kann sehr einfach bis direkt an die Arbeitsplätze transportiert werden.*

*Der Einsatz von Kaltluftmaschinen beschränkte sich auf Einzelfälle, weil die Nachteile, vor allem der sehr schlechte thermische Wirkungsgrad, überwogen. Schwierig war auch die Abführung des Äquivalents an mechanischer Leistung oder Wärme, das der Entspannungskälte entsprach.*

*Die daraus resultierenden hohen Kosten ließen den Einsatz von Kaltdampfmaschinen sinnvoll werden.*

## **Literatur:**

- (1) Tübben: Vorschläge zur Abkühlung warmer Betriebspunkte in Grubenbauen, Glückauf 1899, S. 577 – 581
- (2) Dietz: Ist es möglich, die Grubentemperatur vor Ort dauernd unter 28°C zu halten?, Verlag von Wilhelm Knapp, Halle a.S., 1911, S. 11 – 17
- (3) Rossenbeck und Rath: Über künstliche Kühlung von Grubenwettern, Glückauf 1911, S. 267 – 273
- (4) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 645 – 653
- (5) Herbst, F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 489 – 492
- (6) Biermann, O.: Pressluftfüllanlage mit Verwertung der Kompressionswärme, Glückauf 1930, S. 202
- (7) von Breitenstein, G., Göricke, A., Tümmers, J.: Betriebsergebnisse der neuen Druckluftkühl- und Trockenanlage auf der Zeche Prosper I der Rheinischen Stahlwerke, Glückauf 1951, S. 71 – 74
- (8) Bolenius, C.: Die Bedeutung der ausreichenden Pressluftkühlung für die Energiewirtschaft und den Betrieb unter Tage, Glückauf 1950, S. 550 – 562
- (9) Fritzsche, C.H.: Die Beeinflussung der Wettertemperatur durch Elektrizität und Pressluft im Steinkohlenbergbau, Glückauf 1935, S. 1217 – 1223
- (10) Winkhaus, H.: Die Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben, Glückauf 1922, S. 645 – 653
- (11) Schulz, W.: Wettervermehrung und Wetterkühlung durch Druckluft, Glückauf 1930, S. 675 – 677
- (12) Stoces, B. und Cernik, B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 229 – 234
- (13) Martin, O.: Aufbau und Wirkung von Wetterkühlanlagen, Mitt. Forsch. Anst. GHH-Konzern 1939, S. 195 – 204
- (14) Hoffmann, W.: Die Verbesserung des Grubenklimas mit Hilfe von Klimaanlageanlagen, Glückauf 1959, S. 30 – 46
- (15) Plank, R.: Klima-Anlagen in Bergwerken, VDI-Zeitschrift 1939, S.1021 – 1029
- (16) Weuthen, P.: Wettertechnische und klimatische Untersuchungen in einem Streckenvortrieb auf der Zeche Werne und Leistungsmessungen an einer GHH-Wetterkühlanlage, Glückauf 1958, S. 1304 - 1314
- (17) Peter, G.: Möglichkeiten zur Einsparung von Niederdruckluft im westdeutschen Steinkohlenbergbau, Glückauf 1956, S. 951 – 969
- (18) Schlitt, H.G. und Püttmann, T.: Betriebliche Ermittlung des Druckluftverbrauchs, Glückauf 1983, S. 579 - 585

## **Bilder:**

**Bild 1:** Regulierbare Bewetterungsdüse, Stoces, B. und Cernik, B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 229

**Bild 2:** An einem Bohrhammer angesetzte Bewetterungsdüse, Stoces,B. und Cernik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 233

**Bild 3:** Luftturbine der Gutehoffnungshütte, Martin,O.: Aufbau und Wirkung von Wetterkühlanlagen, Mitt. Forsch. Anst. GHH-Konzern 1939, S. 196

**Bild 4:** Klimaanlage in einem Bergwerk mit Kaltluftmaschine, Plank,R.: Klima-Anlagen in Bergwerken, VDI-Zeitschrift 1939, S.1027

## 7.2.2 Klimatechnik

### 7.2.2.1 Grundsatzdiskussion zentrale/ dezentrale Kühlung bzw. über Tage/ unter Tage

Die Diskussion über die Frage einer zentralen oder dezentralen Kühlung bzw. Kälteerzeugung ist so alt wie die künstliche Wetterkühlung selbst.

#### 7.2.2.1.1 Entwicklung bis zum zweiten Weltkrieg

Bereits 1920, also in dem Jahr, an dessen Ende die erste Wetterkühlanlage der Welt auf dem brasilianischen Goldbergwerk Morro Velho in Betrieb ging, entwickelte Herbst (*I*) eine Systematik, mit der für verschiedene Einsatzbedingungen, im wesentlichen definiert durch die Einflussgrößen Relative Feuchte und Umfang der Kühlung, Kühlstrategien festgelegt werden sollen; unter **Punkt 6.2.2.1** wurde die Systematik bereits dargelegt.

Herbst (*I*) unterscheidet je nach Feuchtigkeit in:

- Berieselungsgruben
- feuchte Gruben
- trockene Gruben
- hygroskopische Gruben.

Nach dem Umfang der Kühlung unterscheidet Herbst (*I*) in:

- Zentralkühlung
- Sonderkühlung und diese wieder in
  - Füllortkühlung

## - Feldkühlung

Herbst **(1)** sieht im Allgemeinen die Feldkühlung um so eher im Vorteil, je trockener die Gruben und je verschiedenartiger die Verhältnisse für die einzelnen Bauabteilungen und Betriebspunkte sind. In feuchten Gruben ist der Energieaufwand für die Kühlung am geringsten, wenn diese möglichst früh, zum Beispiel am Füllort, einsetzt, weil die Wetter dann noch nicht so weit mit Wasser gesättigt sind.

Dieser Vorteil kann aber verloren gehen, wenn, wegen einer nachgeschalteten Berieselung zur Vermeidung der Austrocknung des Kohlenstaubs, die Kühlstärke der Wetter durch steigende Feuchtigkeitsgehalte wieder sinkt **(1)**.

Stočes und Černik **(2)** gehen 1931 auf die Frage der zentralen und lokalen Kühlung ein.

Sie plädieren für eine lokale Kühlung, weil sie bei einer zentralen Wetterkühlung – damit ist in diesem Fall eine zentrale Kühlung über Tage gemeint – die Kälteverluste der Wetter bis zum Erreichen der Betriebspunkte für ausschlaggebend halten; auf die Ausbildung eines Kältemantels gehen sie nicht ein **(2)**.

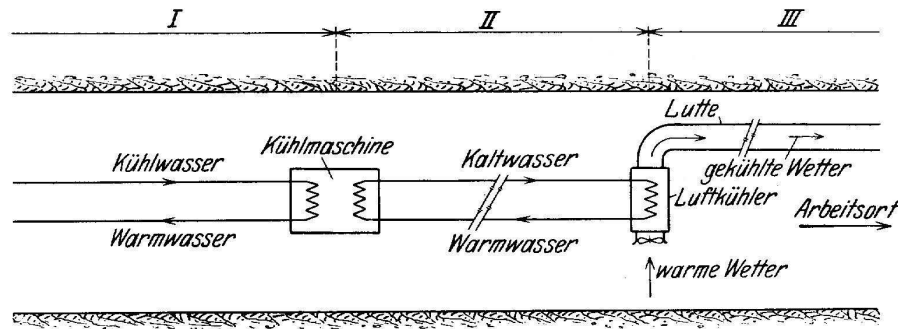
Stočes und Černik schlagen daher vor, die Wetter erst unmittelbar vor Ort zu kühlen und dann mittels geeigneter Düsen, siehe auch **Punkt 7.2.1.3**, in Richtung der Bergleute zu blasen.

Bei der lokalen Kühlung sind die Kälteverluste geringer, und es können die aufwändigen Einrichtungen, isolierte Rohrleitungen, für die Zuleitung der kalten Luft entfallen; es muss allerdings die elektrische Antriebsenergie zugeführt und die Kompressions- und Kondensationswärme abgeführt werden **(2)**.

Da es nach Stočes und Černik manchmal schwierig ist, Kühlwasser bis in die Nähe der Betriebspunkte zu führen, so ist die Kältemaschine dort aufzustellen, wo die Zu- und Ableitung des Kühlwassers leicht möglich ist.

Ist die Entfernung zwischen der Kältemaschine und den zu kühlenden Betriebspunkten für den Kälte-transport durch die Wetter zu groß, ist in der Kältemaschine Wasser zu kühlen, das dann bis an die Betriebspunkte geführt wird, wo es in Wärmetauschern den Wettern die Wärme entzieht **(2)**.

Aus diesen Zusammenhängen ergibt sich eine von Stočes und Černik vorgestellte Systematik, siehe auch **Bild 1**.



**Bild 1:** Anordnung der untertägigen Wetterkühlung mittels der Kühlmaschine System Škoda

Sie (2) unterteilen die gesamte Strecke von der Kühlwasserquelle bis zu den zu kühlenden Betriebspunkten in drei große Bereiche:

- I. von der Kühlwasserquelle bis zur Kühlmaschine
- II. von der Kühlmaschine bis zum Luftkühler
- III. vom Luftkühler bis zum Arbeitsort.

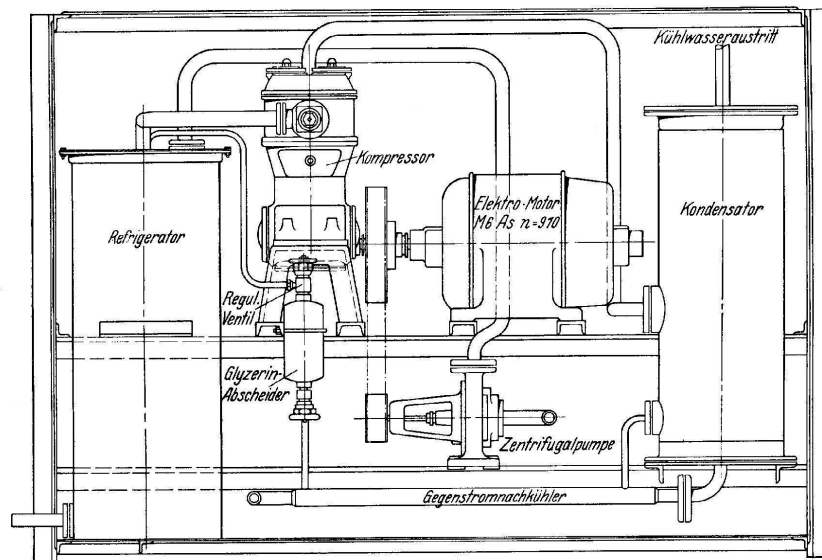
Die Strecke II., Führung des Kaltwassers durch in der Regel isolierte Rohrleitungen und des Warmwassers aus den Luftkühlern, kann relativ lang sein. Daher kann wegen der daraus resultierenden Flexibilität für die Kühlmaschine ein Aufstellungsort gefunden werden (2), an dem sie längere Zeit verbleiben kann. Denkbar wäre in dem Zusammenhang auch die Aufstellung der Kühlmaschine über Tage – mit der leichteren Kühlwasserversorgung und einfacheren Bedienung und Wartung -, dann nach Stočes und Černik (2) allerdings mit dem Nachteil der zusätzlichen aufwändigen Verlegung von, in der Regel isolierten, Rohrleitungen für die Zuleitung des Kaltwassers zu den Luftkühlern unter Tage und zurück. Grundsätzlich sehen Stočes und Černik in der Systematik nach **Bild 1** den positiven Effekt, dass über längere Entfernungen kaltes Wasser leichter zu führen ist als kalte Wetter. Auch ist das Verlängern der Lutten oder der Kaltwasserleitung und das Vorrücken eines Luftkühlers leichter als der Umbau einer schweren Kühlmaschine (2).

Auch Schulz (3) hält bei einem 1932 gehaltenen Vortrag die dezentrale Kühlung, gegenüber der zentralen Kühlung über Tage, für vorteilhafter, weil dann weder die Kurzschlussverluste noch die Wetter mitgekühlt werden müssen, die sich ohnehin nicht erwärmen würden.

Schulz (3) greift das Prinzip von Stočes und Černik auf, dass es besser ist, Kaltwassermengen zu transportieren als kalte Wetter, die sich auf ihrem Weg zu den Arbeitsplätzen um so mehr erwärmen würden je kühler sie in die Grube einströmen würden; auf die Bildung eines Kältemantels durch die Klimatisierung geht Schulz nicht ein.

Als Voraussetzung für die von Stočes und Černik (2) und Schulz (3) vorgeschlagene Konzeption mit einer Kühlmaschine unter Tage stellen die

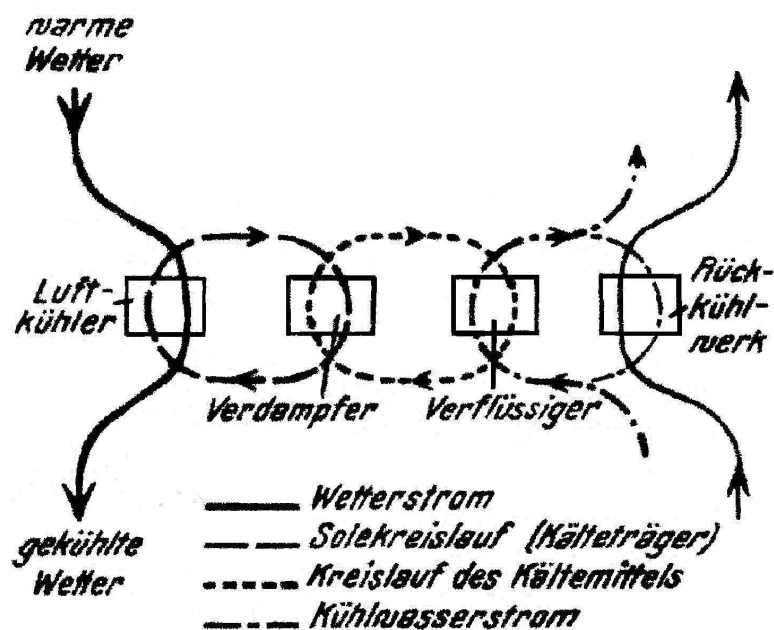
Škodawerke um diese Zeit bereits eine transportable Kompressions-Kältemaschine her, siehe **Bild 2**.



**Bild 2:** Transportable untertägige Kühlmaschine System Škoda

Fritzsche (4) resümiert im Jahr 1940, dass die Entscheidung über die Wahl des Standortes einer Wetterkühlanlage und die Frage einer zentralen oder lokalen Kühlung nicht unbedingt eine Sache des Prinzips ist, sondern abhängt von der an eine Klimaanlage gestellten Aufgabe und den klimatischen, geologischen und bergtechnischen Verhältnissen eines Bergwerks.

Ähnlich wie Stočes und Černik verdeutlicht Fritzsche (4) die grundsätzlichen Verhältnisse in einem Schaubild, siehe **Bild 3**.



**Bild 3:** Schaltbild einer Klimaanlage

Fritzsche (4) unterscheidet drei Vorgänge:

- Die eigentliche Kälteerzeugung
- Die Übertragung der Kälte an die Wetter im Luftkühler
- Die Kühlwasserwirtschaft, die als Kreislauf erfolgt, wenn das Wasser rückgekühlt wird.

Da Kälteerzeugung und Wetterkühlung räumlich getrennt sein können, ergeben sich drei Aufstellungsmöglichkeiten:

1. Kälteerzeugung und Wetterkühlung über Tage
2. Kälteerzeugung über Tage, Wetterkühlung unter Tage
3. Kälteerzeugung und Wetterkühlung unter Tage.

In den Fällen 1 bis 3 kann eine zentrale Kühlung der Gesamtwettermenge und in den Fällen 2 und 3 eine lokale Kühlung von Teilströmen erfolgen (4). Fritzsche geht dann auf die Spezifika der drei Möglichkeiten ein:

#### 1. Kälteerzeugung und Wetterkühlung über Tage

Bei der Aufstellung der Kälteanlage über Tage ergeben sich einige Vorteile. Die Aufstellung sowie die Wartung und Bedienung der Maschine sind einfacher als unter Tage; das gleiche gilt für die Versorgung mit Kühlwasser.

Nachteilig ist zunächst, dass der gesamte Wetterstrom gekühlt wird, auch die Kurzschlussverluste und die Wetter für Teilströme, für die eine Kühlung nicht erforderlich wäre.

Die Selbstverdichtung im Schacht mit der Wiedererwärmung der Wetter lässt sich nicht vermeiden.

Wegen der größeren Temperaturdifferenz ist die Wärmeabgabe aus dem Gebirge an die gekühlten Wetter größer als an ungekühlte.

Fritzsche (4) bezeichnet das Verhältnis zwischen der Kälte, die am zu kühlenden Betriebspunkt unter Tage nutzbar ist, und der Wärmemenge, die in der Kälteanlage dem Wetterstrom entzogen wird, als „Standortwirkungsgrad“. Dieser Wert liegt nach Fritzsche, allerdings unter Außerachtlassung des Kältemantels im Einziehweg, für diesen Fall bei 20 – 25%.

Fritzsche errechnete modellhaft für ein Bergwerk mit einem Gesamteinziehstrom von 8.500 m<sup>3</sup>/min eine erforderliche Bruttokälteleistung von 6 Mill. kcal/h.

Als Vorteil betrachtet Fritzsche die höhere Dichte eines gekühlten Wetterstromes im Einziehschacht, wodurch der natürliche Wetterzug unterstützt wird.

Fritzsche (4) sieht im Jahr 1940 die Klimatisierung einer Steinkohlenzeche mit Kälteerzeugung und Wetterkühlung über Tage kritisch, vor allem wegen der erforderlichen Kälteleistungen. Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung ist demnach die Verringerung der Wetterverluste, auch unterstützt durch eine grenzläufige Bewetterung, und die schnelle Heranführung der gekühlten Wetter an die Betriebspunkte und möglicherweise eine Isolierung der Frischwetterwege (4).

## 2. Kälteerzeugung über Tage, Wetterkühlung unter Tage

Aus den Überlegungen oben geht hervor, dass die Kälteerzeugung über Tage Vorteile hat, die Wetterkühlung über Tage aber zu einem schlechten Wirkungsgrad führt (4).

Daraus folgt als Alternative die Lösung mit einer Kälteerzeugung über Tage und der Übertragung der Kälte in die Grube mit Hilfe eines Kälteträgers. Auf die flüssigen und festen Kälteträger wurde unter den **Punkten 6.2.2** und **7.1.3.5** bereits näher eingegangen.

Vorteile für dieses Verfahren sieht Fritzsche (4) darin, dass flüssige und feste Kälteträger im Schacht keiner Selbstverdichtung unterliegen und die Luftkühler unter Tage so aufgestellt werden können, dass nur die Teilströme gekühlt werden, für die das erforderlich ist.

Fritzsche (4) errechnet unter den gleichen Modellannahmen eine erforderliche Kälteleistung von 3 – 4 Mill. kcal/h, wenn die Kälteerzeugung über Tage erfolgt und die Wetterkühlung unter Tage; der Standortwirkungsgrad soll dann bei 50 bis 60% liegen.

Nachteilig bei diesem Verfahren ist die Installation und laufende Unterhaltung der isolierten Hochdruckleitungen.

Auf den gasförmigen Kälteträger Luft wurde unter **Punkt 7.2.1** bereits näher eingegangen.

## 3. Kälteerzeugung unter Tage, Wetterkühlung unter Tage

Fritzsche (4) sieht zu damaliger Zeit Vorteile für diese Konstellation, weil der Investitionsaufwand gegenüber übertägigen Großanlagen geringer ist und sich die Klimatisierung auf klimatisch ungünstige Grubenbaue mit bestmöglichem Wirkungsgrad beschränken kann.

Nach Fritzsche (4) können dabei Standortwirkungsgrade von 70 – 80% erzielt werden.

Für den Betrieb von Kühlanlagen unter Tage, gemeint sind Kompressionskältemaschinen, müssen nach Fritzsche zwei wesentliche Voraussetzungen erfüllt sein:

- Die Verfügbarkeit eines sicherheitlich einwandfreien Kältemittels; aus damaliger Sicht war die Frage gelöst, siehe **Punkt 6.2.2**
- Die Beschaffung ausreichender Kühlwassermengen für den Verflüssiger, nach Fritzsche die Hauptschwierigkeit.



### 7.2.2.1.2 Entwicklung nach dem zweiten Weltkrieg

Im Dezember 1953 ging auf dem Bergwerk Lohberg, erstmals seit dem Einsatz auf dem Bergwerk Radbod in den 1920er Jahren, wieder eine größere Wetterkühlmaschine im Ruhrrevier in Betrieb (5); die Kaldampfmaschine war unter Tage in der Nähe der Abbaue installiert und kühlte jeweils zwei bis drei Abbaubetriebe. Im Jahr 1951 waren auf den Bergwerken Neumühl in Duisburg und Hansa in Dortmund ortsbewegliche Vorortkühlmaschinen angelaufen. Im wesentlichen auf Grund der auf dem Bergwerk Lohberg gesammelten Erfahrungen geht Batzel (5) auf grundsätzliche Fragen zur Klimatisierung ein. Er weist, wie es auch schon der Kenntnisstand vor dem zweiten Weltkrieg war, darauf hin, dass der Standortwirkungsgrad abnimmt je weiter der zu kühlende Betriebspunkt vom Ort der Wetterkühlung entfernt ist.

Daraus ergibt sich im Umkehrschluss, dass die erforderliche Kälteleistung abnimmt je näher der Wetterkühler an den zu kühlenden Betriebspunkt heranrückt (5). Batzel geht deshalb aus damaliger Sicht davon aus, dass im Ruhrrevier auf absehbare Zeit die Klimatisierung der Abbaubetriebe tunlichst in Abbaunähe erfolgen soll.

Die Entscheidung über den Standort der Kälteanlage ist nach Batzel (5) in erster Linie bestimmt vom Umfang der erforderlichen Klimatisierung.

Handelt es sich um einzelne Abbaubetriebe, so ist die Anlage in der Nähe, das heißt dezentral bzw. lokal, aufzustellen. Wird der größte Teil der Abbaubetriebe klimatisiert, ist eine zentrale Kälteerzeugung vorzuziehen mit Aufstellung der Kältemaschine unter Tage im Schachtbereich oder über Tage (5). Bei der Aufstellung über Tage kann der zur Teufe hin entstehende hohe Druck in der Kaltwasserleitung des weiteren Grubengebäudes vermieden werden, indem im Füllort hochdruckfeste Wärmetauscher aufgestellt werden und so mit zwei Kälteträgerkreisläufen gearbeitet wird, von denen der primäre den Kältetransport im Schacht und der sekundäre den Kältetransport zu den Wetterkühlern im Grubenfeld gewährleistet (5).

Voß (6) bemerkt 1976, dass die Frage, ob eine zentrale Kälteerzeugungsanlage für ein Steinkohlenbergwerk der Verwendung mehrerer kleinerer Kältemaschinen im Grubengebäude vorzuziehen ist, nicht allgemeingültig beantwortet werden kann. Sollen nur zwei oder drei Betriebspunkte, die räumlich voneinander entfernt sind, gekühlt werden, hat die dezentrale Kühlung Vorteile. Würde für einen solchen Fall eine zentrale Kälteanlage eingesetzt, würde der Aufwand für die sehr langen Kaltwasserleitungen hoch in Relation zu der geringen Kühlleistung werden.

Die Vorteile einer zentralen Kühlung würden zunehmen, wenn die einzelnen zu kühlenden Betriebspunkte näher zusammen lägen und die erforderliche Kühlleistung zunähme (6).

Voß sieht niedrigere Kosten bei zentraler Kühlung ab einer Kälteleistung über 2,5 MW.

Abhängig ist die Entscheidung über eine zentrale oder dezentrale Kälteerzeugung außerdem von den Aufstellräumen für eine zentrale Anlage und den Möglichkeiten der Bereitstellung von Kühlwasser (6).

Für eine zentrale Kälteanlage spricht der dann geringere personelle Aufwand für die Überwachung, Wartung und Instandhaltung sowie die leichtere

Abführung der Wärme, die im Kondensator entsteht, vor allem, wenn die Anlage über Tage aufgestellt ist oder wenn unter Tage ein ausreichend großer, möglichst auch noch kühler, Wetterstrom für die Rückkühlung zur Verfügung steht (6).

Die Strategie der Kälteerzeugung über Tage und Wetterkühlung unter Tage hat den Nachteil, dass ein Rohrleitungssystem für die Förderung des Kälte-trägers erforderlich ist (6). Auf die dabei entstehende Druckzunahme im Schacht wurde bereits eingegangen.

Die Aufstellung einer Kälteanlage unter Tage ist nur möglich, wenn die entstehende Wärme abgeführt werden kann (6).

1975 war auf dem Bergwerk Schlägel & Eisen die erste zentrale Wetterkühlanlage mit der Kälteerzeugung über Tage in Betrieb genommen worden (6), mit der gute Erfahrungen gemacht wurden.

Im November 1976 ging dann auf dem Bergwerk Consolidation eine Wetterkühlanlage mit zentraler Kälteerzeugung unter Tage in Betrieb (7).

Die Gründe für die Aufstellung der zentralen Kälteanlage unter Tage waren (7):

- Optimale Lage der Kälteanlage im Zentrum der Abbauaktivitäten sowie der Aus- und Vorrichtungstätigkeiten eines Baufeldes
- Günstige Lage zum Ausziehschacht mit entsprechender Kapazität, um die Kondensatorwärme direkt den Ausziehwettern zuführen zu können
- Relativ geringe Rohrleitungslängen für den Kaltwasserkreislauf
- Aufstellung im vorhandenen Füllort, ohne Auffahrung weiterer Hohlräume
- Leichte Zugänglichkeit für Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten
- Keine Beeinflussung durch Abbaueinwirkung, da Aufstellung in weitgehend flözleerem, standfestem Gebirge
- Einfache und zuverlässige Energieversorgung und Messwertübertragung zum Tage in Schachtnähe.

1981 geht Rauß (8) am Beispiel des Bergwerks Heinrich Robert auf die Entwicklung zu zentralen Kälteanlagen mit großer Leistung ein; als Ursache dafür sieht er die Notwendigkeit, immer mehr Betriebspunkte zu klimatisieren, das starke Anwachsen der Kälteleistung pro Einheit und die Schwierigkeit, die in den Kondensatoren anfallenden großen Wärmemengen dezentral aufzugeben.

Die zu der Zeit noch breite Anwendung der dezentralen Kühlung sieht Rauß (8) in der Tatsache begründet, dass ursprünglich nur wenige Betriebspunkte

mit geringen Einzelleistungen gekühlt wurden; die Rückkühlung erfolgte zum Teil über die Wasserhaltung, zum Teil über Rückkühler im Abwetterstrom. Durch steigende Kälteleistungen und damit größere Schwierigkeiten mit der Rückkühlung mussten die Kältemaschinen und Rückkühler dann immer weiter vom Ort des Kältebedarfs entfernt aufgestellt werden.

Der große Vorteil dezentraler Systeme ist, dass keine Schachtleitungen und großen Leitungsnetze erforderlich sind; daher sind sie eher für Einsätze an Betriebspunkten mit relativ geringem Kältebedarf und großer Entfernung von der Hauptversorgung geeignet (8).

Der große Nachteil dezentraler Systeme ist – bei starker Zunahme an Einzelmaschinen – die zu große Belastung des Abwetterstromes mit Wärme, verbunden mit dem hohen Aufwand für die Rückkühlung. Der Reparatur- und Wartungsaufwand wächst, da die Aggregate häufig umgesetzt werden, und jeder Kühlkreislauf benötigt eine eigene Steuer- und Regeleinrichtung (8).

Nach Rauß (8) ist daher wegen der geschilderten Schwierigkeiten bei den dezentralen Systemen der Weg zu zentralen Kälteanlagen zwangsläufig. Grundsätzliche Vorteile der Zentralanlagen sind (8):

- Konzentration der Maschinenanlagen an einem Ort
- kein weiterer Umbau und Transport der Kälteanlagen
- weniger Aufwand für Reparatur und Wartung
- je nach Aufstellungsort kein Schlagwetterschutz erforderlich
- die Wetterwege werden – mit Ausnahme des Ausziehschachtes bei untertägiger Aufstellung – nicht mit weiterer Abwärme belastet.

Nachteile der Zentralanlagen sind nach Rauß (8):

- größeres Leitungsnetz, das, wenn zu hohe Kälteverluste vermieden werden sollen, isoliert werden muss
- bei übertägiger Aufstellung sind Hochdruck-Schachtleitungen und Hochdruck-Niederdruck-Wärmetauscher (oder andere Einrichtungen zum Druckabbau) erforderlich.

Über Tage aufgestellte zentrale Kälteanlagen haben keine Begrenzung in der Abführung der Wärme; die Kälteleistungen sind begrenzt durch die Möglichkeiten für die Verlegung von Hochdruckleitungen im Schacht und durch die Wärmeverluste im Netz.

Unter Tage aufgestellte zentrale Kälteanlagen sind in ihrer Leistung begrenzt durch die Menge und die Qualität der Abwetter (8).

Grundtypen für beide Konstellationen waren die oben erwähnten zentralen Kälteanlagen auf Schlägel& Eisen und Consolidation, die beide gute Ergebnisse lieferten (8).

Eine Kombination aus beiden Verfahren war auf dem Bergwerk Monopol im Einsatz. Die Kälteerzeugung erfolgte unter Tage und die Rückkühlung mit Nutzung der Abwärme über Tage **(8)**.

Auf eine Besonderheit für den deutschen Steinkohlenbergbau geht Kuschel **(9)** 1986 ein. Das Bergwerk Ibbenbüren kühlte die Gesamteinziehwettermenge eines Schachtes in einer Sprühkammer, siehe dazu **Punkt 7.2.3**.

In den Folgejahren ging die Entwicklung hin zu leistungsstärkeren zentralen Kälteerzeugungsanlagen und Wetterkühlern **(10)**.

Im Grunde konnte mit allen Wetterkühlsystemen, wie sie oben geschildert wurden, das beabsichtigte Ziel der Klimatisierung erreicht werden. Allgemein kann jedoch für den deutschen Steinkohlenbergbau gesagt werden, dass bei sehr großen Kälteleistungen der übertägige Standort der Kälteerzeugung, möglichst in Verbindung mit Mehrkammer-Rohraufgebern und leistungsfähigen Einrichtungen zur Wärmeabfuhr, bevorzugt wird **(10)**. Der untertägige Standort ist bei kleiner Kälteleistung und kurzer Einsatzdauer sinnvoll **(10)**.

Es werden größere Wetterkühler verwendet mit einer möglichst seltenen Veränderung ihrer Standorte.

Alternativ zu den Hochdruck-Niederdruck-Wärmetauschern am Ende der Schachtleitung und Anfang des Kälte-trägertransports zu den Wetterkühlern im Grubenfeld haben Mehrkammer-Rohraufgeber und Pelton-Turbinen mit Energierückgewinnung bei der Druckminderung hervorragende thermische Eigenschaften **(10)**.

Untersuchungen **(11)** ergaben für die zentralen Kälteerzeugungsanlagen die niedrigsten Betriebskosten, so dass sich die höheren Investitionen bereits nach einigen Jahren amortisierten und damit für diese Konzeption auch die niedrigsten Gesamtkosten zu erwarten sind.

Am Schacht Lerche des Bergwerks der Deutschen Steinkohle AG ist eine zentrale Kälteanlage mit 20 MW Leistung über Tage installiert **(12)**.

Unter Tage erfolgt die Druckminderung über zwei Dreikammer-Rohraufgeber; das Kaltwasser geht mit einer Vorlauftemperatur von 2°C in das System und kommt mit einer Rücklauftemperatur von 14°C zurück **(12)**.

Die Anlage ist nur wenige Kilometer vom ersten Standort einer Kühlmaschine auf dem Bergwerk Radbod im Jahr 1924 entfernt.

### **7.2.2.1.3 Zusammenfassung**

*Seit Beginn der maschinellen Klimatisierung wurden grundsätzliche Überlegungen zur richtigen Kühlstrategie angestellt.*

*So lange die erforderlichen Kühlmengen gering waren, wurden die Strategien bevorzugt, die die Kälteerzeugung möglichst nahe an die zu kühlenden Betriebspunkte brachten. Das ist bei dezentraler Kühlung der Fall.*

*Mit der Ausweitung der erforderlichen Kühlmengen kam es zu einer stärkeren Zentralisierung der Kälteerzeugung und im deutschen Steinkohlenbergbau zur Errichtung großer zentraler Kälteanlagen über Tage.  
Die technische Entwicklung schuf die Möglichkeit, große Mengen an Kälteträger von zentralen Kälteanlagen zu den Wetterkühlern im Grubengebäude zu transportieren.*

### **Literatur:**

- (1) Herbst,F.: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung, Glückauf 1920, S. 409 - 417
- (2) Stočes,B. und Černik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 218 - 221
- (3) Schulz,W.: Die Bekämpfung hoher Grubentemperaturen (Auszug aus einem am 20.6.1932 im Haus der Technik in Essen gehaltenen Vortrag), Der Bergbau 1933, S. 15 - 17
- (4) Fritzsche,H.: Heutiger Stand und Zukunftsmöglichkeiten der Wetterkühlung in heißen Gruben, Glückauf 1940, S. 167 - 174
- (5) Batzel,S.: Planung und Betrieb von Klimaanlagen für Abbaubetriebe, Glückauf 1959, S. 47 - 65
- (6) Voß,J.: Klimatisierung im Grubenbetrieb, Glückauf 1976, S. 961 – 969
- (7) Feckler,W.: Grubenklimatisierung auf der Zeche Consolidation mit einer Großkältemaschine unter Tage, Glückauf 1978, S. 1027 - 1032
- (8) Rauß,B.: Kälteanlagen zur Bewältigung grubenklimatischer Probleme, Glückauf 1981, S. 131 - 139
- (9) Kuschel,K.H.: Grubenbewetterung und Klimatisierung beim Abbau in großen Teufen, Glückauf 1986, S. 108 - 114
- (10) Entwicklungsrichtungen bei der Klimatisierung von Steinkohlenbergwerken, Bergingenieure 1993, S. 175 - 176
- (11) 50 Jahre Kohleforschung der EGKS Europäische Gemeinschaft, 2002, steinkohle-portal.de
- (12) Neukart,R.: Schlagader versorgt „Wilhelm, Bergbau 2004, S. 461 - 462

### **Bilder:**

**Bild 1** Anordnung der untertägigen Wetterkühlung mittels der Kühlmaschine System Škoda, Stočes,B. und Černik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 209

**Bild 2** Transportable untertägige Kühlmaschine System Škoda, Stočes,B. und Černik,B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 209

**Bild 3** Schaltbild einer Klimaanlage, Fritzsche,H.: Heutiger Stand und Zukunftsmöglichkeiten der Wetterkühlung in heißen Gruben, Glückauf 1940, S. 167



Abels (3) beschreibt die Anlage wie folgt (siehe auch **Bild 1**): „Eine Ausführungsform der Anlage ist im Grundriss dargestellt. Sie veranschaulicht den Einbau der Kühlanlage bei einem Streckenvortrieb.

Es bedeuten FWS den Frischwetterstrom, AWS den abziehenden Wetterstrom, KK die Kühlkammer, KR ein Kühlrohr, WS einen Wetterscheider, WT<sup>1</sup> und WT<sup>2</sup> Wettertüren.

Der frische , aber auf einem langen Anmarschwege stark erwärmte Wetterstrom FWS streicht durch eine große Zahl dünnwandiger Blechröhren KR, die in die beiden Kopfwände der Kühlkammer KK eingelassen sind und die Kammer durchziehen. Der gekühlte Strom gelangt durch den Raum rechts vom Wetterscheider WS vor den Streckenort, erwärmt sich hier mehr oder weniger und zieht dann durch den Raum auf der anderen Seite des Wetterscheiders rückwärts in die Kühlkammer KK. Hier bestreicht er die Außenseite der mit Wasser berieselten Kühlrohre KR, wobei das Rieselwasser zum Verdunsten kommt.

Die Verdunstungswärme wird zum Teil dem nunmehr abziehenden Wetterstrom in der Hauptsache aber durch die dünneren Wandungen der Kühlrohre KR hindurch dem frischen aber zu warmen Wetterstrom FWS entzogen. Es wird hierdurch erreicht, dass dieser erheblich abgekühlt an die Arbeitsstelle vor dem Streckenort gelangt.“

1923 erhielten die Maschinenbau-Act.-Ges. Balcke und Droste ein Patent (4) für das „Verfahren zur Kühlung der Grubenluft“, das unter **Punkt 7.1.3.3.5** näher beschrieben wird und eine Kombination aus einer Wettertrocknung und nachgeschalteter Verdunstungskühlung darstellt.

Ebenfalls 1923 wurde das „Verfahren zur Kühlung der Grubenwetter“ von Heise patentiert (5).

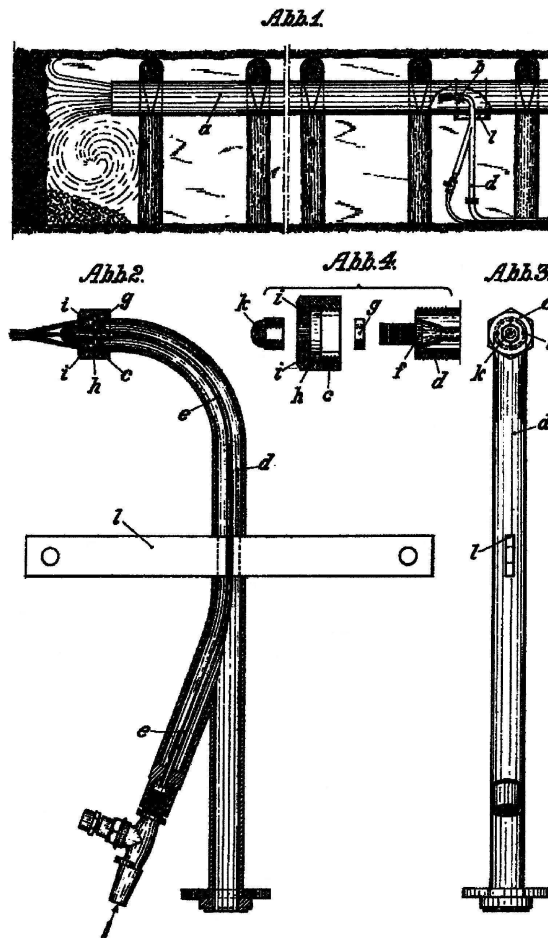
In diesem Patent wird vorgeschlagen, dass während der kalten Jahreszeit Wasser versprüht wird, das sowohl einen Kältemantel aufbaut, der in den warmen Monaten dann genutzt werden kann und andererseits die Austrocknung der Einziehwege, mit den negativen Auswirkungen auf die Explosionsfähigkeit des Kohlenstaubes, verhindert (5).

Unter **Punkt 7.1.2.1.2** wird auf dieses Verfahren näher eingegangen.

Im Jahr 1924 wurde die „Vorrichtung zur Herabminderung der Temperaturen vor Ort im Bergwerksbetrieb“ von Kober patentiert (6).

Auch dieses Verfahren nutzt die Verdunstungskälte. Neu ist nach Kober (6), „die Wasserzerstäubung in der die Luft zuführenden Wetterlutte im mäßigen Abstände von ihrer Ausmündung vorzunehmen, und zwar mit dem Erfolg, dass die hier den höchsten Wärmegrad besitzende Luft die stärkste Verdampfung bewirkt, also auch am stärksten gekühlt wird, und dass der unvermeidliche Niederschlag nicht verdampften Wassers sich in der Lutte selbst vollzieht, so dass die Arbeiter durch den Wasserstaub nicht belästigt werden.“

Die Vorrichtung ist in **Bild 2** dargestellt.



**Bild 2: Wetterkühlung mit Zerstäubungsdüse**

Auf die betriebliche Anwendung der Sprühkühlung auf der Zeche Radbod in den 1920er Jahren wurde unter **Punkt 6.2.2.3** eingegangen.

Als Alternative zur eigentlichen Sprühkühlung schlagen Stočes und Černik eine Methode vor, bei der eine große Wasseroberfläche als Kontakt zu den Wettern dadurch erzielt wird, dass Wasser über Füllmaterial unterschiedlicher Art hinunterfließt (7) und nennen sie Wasserzerteilungsmethode. Kammern werden mit zusammengerollten Drähten, Metallspänen oder blanken bzw. mit Asbestzwirn umwickelten Drahtspiralen gefüllt. Dieses Material wird mit – möglichst kühlem – Wasser oder einer Sole benetzt; die zu kühlenden Wetter werden dann durch die Kammern geleitet, in denen sie gekühlt werden. Die aus den Wettern freiwerdende Wärme wird über das Metall oder das herabfließende Wasser abgeleitet (7). Ein Kühleffekt tritt sowohl durch Verdunstung als auch durch Wärmetausch an den Oberflächen auf.

Beim weltweit ersten Einsatz einer Wetterkühlanlage im Bergbau auf dem brasilianischen Goldbergwerk Morro Velho wurde im Jahr 1920 für den Wärmetausch ein ähnliches System angewendet, indem rotierende Metallringe durch die gekühlte Sole geführt wurden (siehe auch **Punkt 6.1.2**); anschließend



strömten die zu kühlenden Wetter durch die Metallringe, an denen der Wärmetausch dann erfolgte.

Auch im tiefen Goldbergbau Südafrikas wurde früh Sprühkühlung eingesetzt; darauf wird unter **Punkt 6.1.3** eingegangen.

### 7.2.3.2 Anwendung der Sprühkühlung nach dem zweiten Weltkrieg

Die Entwicklung wurde in Südafrika fortgeführt, siehe dazu **Punkt 6.1.5** und Wagner (8).

Auch im Ruhrrevier gingen nach dem zweiten Weltkrieg die Überlegungen zur Nutzung der Sprühkühlung weiter.

Eine Anwendung des Verfahrens beschreibt Weuthen im Jahr 1962 (9), das unter **Punkt 7.1.3.3.5** weiter ausgeführt wurde.

Voß (10) weist ebenfalls auf die im südafrikanischen Bergbau üblichen großen Sprühkammern hin, in denen Kaltwasser versprüht wird. Die Temperaturen des versprühten Kaltwassers liegen 5 bis 10°C unter der Taupunkttemperatur der zu kühlenden Wetter; dadurch wird die absolute Feuchtigkeit der Wetter verringert, ähnlich wie in einem konventionellen Wärmetauscher (10). Am Ende des Sprühkanals sind die Wetter zwar nahezu gesättigt; durch die nachfolgende, im südafrikanischen Goldbergbau überwiegend trockene, Erwärmung wird die relative Feuchte gesenkt (10).

Nach Voß liegt der Vorteil der Kühlkammern in der Möglichkeit, sehr große Kühlleistungen mit verhältnismäßig geringen Kosten zu bauen und zu betreiben (10).

Im deutschen Steinkohlenbergbau wurde die Sprühkühlung insbesondere auf dem Bergwerk Ibbenbüren eingesetzt. Auf dem Bergwerk wurde mit Unterstützung durch das Land Nordrhein-Westfalen eine Kombination zwischen indirekter Wetterkühlung durch Oberflächenkühler und direkter Kühlung durch Besprühen der Wetter mit kaltem Wasser gewählt (11). Dabei wurden einerseits die Gesamteinziehwetter eines Schachtes in einer Sprühkammer gekühlt – und durch den oben erwähnten Effekt gleichzeitig getrocknet – und andererseits alle Abbaubetriebe durch eigene Kühlstationen klimatisiert (11).

Unter Tage waren entweder Sprühkühler in einem Metallgehäuse eingebaut oder, wenn sie in einem eigens dafür geschaffenen Grubenraum untergebracht waren, sogenannte Sprühstrecken (12).

Im Sprühkühler werden die Wetter durch einen Lüfter angesaugt und durch den Wärmetauscher geblasen. Ein Tropfenabscheider am Ende des Sprühkühlers verhindert, dass der aus dem Kühler austretende Wetterstrom durch Wassertröpfchen die Wetter unnötig befeuchtet (12).

Bei den größer dimensionierten Sprühstrecken kann nach Reuther und Unruh (12) auf einen zusätzlichen Lüfter verzichtet werden, da der Druck aus dem Hauptgrubenlüfter ausreicht, um genügend Wetter durch den Kühler zu bringen.

Das für den Effekt der Trocknung – durch Verringerung der absoluten Feuchte – erforderliche Kaltwasser wurde in der zentralen, herkömmlichen, Kälteanlage über Tage erzeugt (11).

Vorteile der Sprühkühler gegenüber Oberflächenkühlern sehen Reuther und Unruh (12) neben der einfacheren Bauweise vor allem bei kühleren und trockeneren Wettern und wenn genügend Raum für den Einbau der Aggregate für eine möglichst lange Lebensdauer vorhanden ist.

Bei kleineren Kühlleistungen und häufigem Standortwechsel sehen Reuther und Unruh den Oberflächenkühler überlegen, verbunden mit kleineren Abmessungen, die den Raumbedarf unter Tage verringern (12).

Durch das Versprühen des Wassers wird ein großer Teil der darin enthaltenen Stäube im Sprühkühler niedergeschlagen (13).

Für den entstehenden Schlamm sind geeignete Schmutzfänger oder Reinigungseinrichtungen vorzusehen.

Durch die Entspannung des Kaltwassers – und damit Öffnung des Wasserkreislaufs – sind im Rücklauf des Wassers zur zentralen Kälteerzeugungsanlage höhere Pumpenleistungen vorzusehen als bei geschlossenem Kreislauf mit Oberflächenkühlern (13).

Dieser erhöhte Leistungsbedarf wird jedoch mehr als ausgeglichen durch den geringeren Leistungsbedarf bei der Bewetterung, der dadurch entsteht, dass der Strömungswiderstand im Sprühkühler geringer ist als im Oberflächenkühler (13).

Sprühkühler sind im deutschen Steinkohlenbergbau nicht mehr im Einsatz, obwohl der unmittelbare Kontakt des Wassers mit den Wettern es ermöglichte, bei gegebenen Wetter- und Wasservolumenströmen höhere Kälteleistungen als bei herkömmlichen Kühlern zu übertragen (14); allerdings waren die infrastrukturellen Maßnahmen sehr aufwändig.

### 7.2.3.3 Schlussfolgerungen

*Die Sprühkühlung leitete sich aus dem Erkennen des Zusammenhangs zwischen der Wasserverdunstung und der Verringerung der Trockentemperatur der Wetter ab.*

*Die Sprühkühlung erzielt ihre Wirkung durch das feine Versprühen des Wassers, das wegen seiner dadurch entstehenden großen Oberfläche viel Wärme direkt aufnehmen kann und schnell verdunstet, wodurch die entstehende Verdunstungskälte zu einem Absinken der Trockentemperatur der Wetter führt.*

*Die beste Wirkung erzielt die Sprühkühlung da, wo die Wetter so trocken sind, dass sie entsprechende Wassermengen aufnehmen und dadurch gekühlt werden können.*

*In Sprühkühlern, in denen die Temperatur des versprühten Wassers deutlich unter dem Taupunkt der zu kühlenden Wetter liegt, wird die absolute Feuchtigkeit in den Wettern gesenkt. Am Ende des Sprühkanals sind die Wetter zwar annähernd gesättigt, durch die nachfolgende Erwärmung wird die*

*relative Feuchte aber abgesenkt, vor allem wenn die Erwärmung eher trocken erfolgt.*

*Sprühkühler sind im deutschen Steinkohlenbergbau trotz der guten Kühlleistungen nicht mehr im Einsatz. Die Ursache liegt in den aufwändigen infrastrukturellen Maßnahmen. Aufwändig war auch die Handhabung der durch die Staubbiederschlagung in den Sprühkühlern entstehenden Schlämme.*

### **Literatur:**

- (1) Pressel, K.: Die Bauarbeiten am Simplontunnel, Schweizerische Bauzeitung 1906, S. 249 - 313
- (2) Westfälische Maschinenbauindustrie Gustav Moll: Luftkühler, insbesondere für Gruben, patentiert am 28. November 1914, DRP 289 340
- (3) Abels, C.: Anlage zur Kühlung der Wetter vor heißen Betriebspunkten, patentiert am 24. November 1922, DRP 376 172
- (4) Maschinenbau-AG. Balcke und Droste, H.: Verfahren zur Kühlung von Grubenluft, patentiert im Deutschen Reiche vom 7. Februar 1923 ab, DRP 412 754
- (5) Heise, F.: Verfahren zur Kühlung der Grubenwetter (Zusatz zu Patent 395039), patentiert am 16. Dezember 1923, DRP 404 863
- (6) Kober, W: Vorrichtung zur Herabminderung der Temperatur vor Ort im Bergwerksbetrieb, patentiert am 1. Juni 1924, DRP 434 677
- (7) Stočes, B. und Černik, B.: Bekämpfung hoher Grubentemperaturen, Springer-Verlag Berlin 1931, S. 256 - 257
- (8) Wagner, H.: The challenge of deep-level mining in South Africa, Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy, vol. 86, no. 9, Sept. 1986, Seiten 377 - 392
- (9) Weuthen, P.: Verfahren der Grubenwetterkühlung, Glückauf 1962, S. 731 - 738
- (10) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 139 - 140
- (11) Kuschel, K.H.: Grubenbewetterung und Klimatisierung beim Abbau in großen Teufen, Glückauf 1986, S. 108 - 114
- (12) Reuther, E.-U. und Unruh, J.: Sprühkühler, eine Alternative zum Oberflächenkühler bei der Klimatisierung im Steinkohlenbergbau?, Glückauf 1986, S. 1395 - 1400
- (13) Sprühkühler für den Steinkohlenbergbau, Bergingenieure 1992, S. 162 - 164
- (14) 50 Jahre Kohleforschung der EGKS Europäische Gemeinschaft, 2002, steinkohle-portal.de

### **Bilder**

**Bild 1:** Wetterkühlung nach Abels, Abels, C.: Anlage zur Kühlung der Wetter vor heißen Betriebspunkten, patentiert am 24. November 1922, DRP 376 172

**Bild 2:** Wetterkühlung mit Zerstäubungsdüse, Kober, W: Vorrichtung zur Herabminderung der Temperatur vor Ort im Bergwerksbetrieb, patentiert am 1. Juni 1924, DRP 434 677

## **8. Arbeitsschutz**

### **8.1 Persönlicher Klimaschutz**

Eine andere Strategie, die Klimaauswirkungen auf dem Menschen zu verringern, war der persönliche Klimaschutz.

#### **8.1.1 Erste Erprobungen in Südafrika**

Zuerst wurde über den Einsatz von Kühljacken durch Strydom und andere berichtet; eine Zusammenfassung erschien 1976 in der deutschen Literatur *(1)*. Im südafrikanischen Goldbergbau wurden zu dieser Zeit im Laboratorium und unter Tage erstmals mit Eis gefüllte Kühljacken erprobt, durch die in den feuchtwarmen Goldgruben eine merkliche Reduzierung der physiologischen Belastung der Bergleute erzielt werden sollte *(1)*.

Die verwendete Eisjacke besteht aus einem Innenponcho mit 28 versiegelten Wassertaschen, die jeweils etwa 160 ml Wasser aufnehmen können. Darüber wird eine Außenjacke getragen, die zur Isolierung nach außen eine 10 mm dicke Füllung aus Schaumstoff enthält.

Die Bergleute tragen unter der Kühljacke eine Weste aus Wolle oder Baumwolle, um eine Unterkühlung der Haut zu vermeiden *(1)*.

Unter Tage werden Gefrierräume oder -boxen mit einer Aufnahmekapazität von 120 Jacken in der Nähe der Arbeitsplätze errichtet.

Als eine der Hauptschwierigkeiten bei der Verwendung der Eisjacken wird von Strydom die begrenzte Einsatzdauer genannt. In den 28 Wassertaschen mit je etwa 160 ml Inhalt befindet sich ein Wasservorrat von rd. 4,5 kg Eis *(1)*.

Unter Berücksichtigung der Schmelzwärme und der Wassererwärmung bis auf die Hauttemperatur von 35°C ergibt sich ein Kältevorrat von 482 kJ/kg (115 kcal/kg) oder 2.169 kJ/Jacke (518 kcal/Jacke).

Bei einer Arbeitsschwere von 350 W (300 kcal/h) wäre bei einer sechsstündigen Arbeitszeit ein Eisvorrat von etwa 15 kg erforderlich *(1)*.

Die Erprobungen der Eisjacken in Südafrika hatten ergeben, dass die Eisjacken tatsächlich 2,5 h wirksam waren, also deutlich länger als es dem theoretischen Wert entsprochen hätte. Die Ursache dafür war, dass nicht der gesamte Wärmeumsatz durch die Eisjacken aufgenommen werden musste, sondern ein Teil der Entwärmung durch Konvektion und Schweißverdunstung über die nicht von der Jacke bedeckten Teile der Körperoberfläche erfolgte *(1)*.

#### **8.1.2 Versuche in Deutschland**

Mücke *(2)* berichtet 1982 über Versuche mit Bergbau-Kühlkleidung in Deutschland.

Dabei wurde durch Versuche in Klimakammern ermittelt, ob durch eine für bergmännische Arbeiten geeignete Kühlkleidung die physiologische Belastung für den Bergmann unter bestimmten Klima- und Arbeitsbelastungen verringert werden kann.

Da der Bergmann die für seine Arbeit erforderliche Beweglichkeit behalten muss, kommt nach Mücke nur eine Teilkühlung, vorzugsweise des Oberkörpers, in Betracht.

Deshalb kann auch nur ein begrenzter Anteil der Körperwärme vom Kühlmedium übernommen werden; die übrigen Körperpartien müssen auf die übliche Weise, das heißt in erster Linie über die Schweißverdunstung, entwärmt werden.

Nach Mücke (2) sind an die Kühlkleidung aus klimatischer und arbeitsphysiologischer Sicht folgende Anforderungen zu stellen:

- Kühlsysteme sollen autark sein, das heißt unabhängig von einer Energieversorgung von außen (Druckluftschlauch, Kaltwasserleitung, Elektrokabel), um den Bergleuten die notwendige Beweglichkeit zu erhalten.
- Für die Kühlkleidung dürfen keine toxischen, brennbaren oder explosiblen Stoffe verwendet werden.
- Kühlkleidung muss angenehme Trageeigenschaften haben. Vor allem müssen die Kontaktflächen zwischen der kalten Innenseite der Kühlkleidung und der warmen Haut so geschützt sein, dass keine örtliche Unterkühlung des Körpers eintritt.
- Die Forderung nach einem geringen Gewicht der Kühlkleidung, um die körperliche Beanspruchung des Bergmanns möglichst gering zu halten, widerspricht der Forderung nach ausreichender Kühlleistung. Bei autarker Kühlkleidung würden Gewicht und Abmessung zu groß, wenn eine Kühlleistung von 200 bis 250 W für eine Kühldauer von 5 bis 6 Stunden zur Verfügung stehen sollte. Wegen der unverzichtbaren Bewegungsfreiheit muss die Kühldauer daher zeitlich begrenzt werden. Dabei wird auch von Überlegungen ausgegangen, mit geeigneten Vorkehrungen die Kühlkleidung, nach Verbrauch der Kühlkapazität, während der Schicht wechseln zu können.

In den Jahren 1976 bis 1981 wurden Versuche mit Druckluftkühlkleidung und mit der sogenannten Apollo-Weste, einer autarken Eiswasser-Kühlweste, durchgeführt.

Es wurden Druckluftanzüge und -jacken getestet, für die ein Druckluftanschluss in kurzer Entfernung erforderlich war (3).

Die Wirkung der Druckluftanzüge und -jacken beruht nach Mücke (2) in erster Linie darauf, dass der Haut die gegenüber den Wettern trockenere Druckluft

zugeführt wird, die dadurch zu einer größeren Schweißverdunstung und damit Absenkung der Hauttemperatur führt.

Die Körpertemperatur eines Probanden war unter Belastung in der Klimakammer um 0,4 K bis 0,6 K geringer als bei dem gleichen Versuch in Turnkleidung.

Dennoch hätte der Proband das Turnzeug vorgezogen, weil nach seiner subjektiven Beurteilung die begrenzte physiologische Entlastung durch das Zusatzgewicht der schweren und unhandlichen Druckluftkleidung mehr als aufgewogen wurde (2).

Die Entwicklung der Apollo-Weste erfolgte im gleichnamigen amerikanischen Weltraumprogramm. Sie besteht aus einem doppelwandigen Kunststoffmaterial, in dem ein ausgedehntes Schlauchsystem verlegt ist, durch das eine Elektropumpe Eiswasser zirkulieren lässt (2).

Bei den Versuchen mit der Apollo-Weste ergaben sich außer einer geringfügig niedrigeren Körpertemperatur keine wesentlichen physiologischen Vorteile. Die Ursache lag nach Mücke in der viel zu geringen Kühlkapazität, für deren Erhöhung er wegen des ohnehin hohen Gewichtes der Apollo-Weste keine sinnvolle Möglichkeit sah. Alternativ kam nur ein Wechsel der Kühlkleidung in kurzen Intervallen in Frage.

Nach den Erfahrungen mit der Druckluft-Kühlkleidung und der Apollo-Weste sah Mücke zunächst nur die Wassereis- und die Trockeneis-Kühlkleidung als sinnvoll an (2).

Über die südafrikanischen Versuche mit der Wassereisweste wurde oben bereits berichtet.

Das Prinzip der Trockeneis-Kühlkleidung beruht darauf, dass die in Taschen untergebrachte Trockeneisfüllung Körperwärme aufnimmt und das sublimierte CO<sub>2</sub>-Gas zusätzlich kühlt, wenn es den Körper überströmt (2).

Mit einer Trockeneisfüllung von 4 kg CO<sub>2</sub> und einer Sublimationswärme von 573 kJ/kg (Sublimation ist der direkte Übergang vom festen in den gasförmigen Zustand) ließe sich bei einer Betriebszeit von 2,5 h eine Kühlleistung von 250 W erzielen (2).

Im Jahr 1979 wurden Versuche mit verschiedenen Kühlwesten in Klimakammern bei simulierter Arbeit durchgeführt.

Es wurden dabei Verminderungen der Rektaltemperaturen der Probanden erzielt, die mit zunehmender Versuchsdauer gegenüber gleicher Belastung ohne Kühlweste auf bis zu 0,7 K bei der Wassereisweste anstiegen.

Der Effekt einer niedrigeren Körpertemperatur war bei der CO<sub>2</sub>-Kühlweste und der Apollo-Weste geringer.

Auch die subjektive Beurteilung der physiologischen Entlastung durch die Probanden war bei der Wassereisweste am günstigsten (2).

Zusätzlich wurden Versuche zu einer geeigneten Unterkleidung angestellt.

Ergebnis der Versuche war, dass mit einer geeigneten Kühlkleidung physiologische Erleichterungen zu erzielen sind, wenn eine größere thermische Belastung vorhanden ist.

Die Versuchspersonen empfanden subjektiv das Tragen der Kühlwesten, vor allem der Wassereiswesten, in Verbindung mit einer ausreichend isolierenden

und schweißaufsaugenden Unterbekleidung als angenehm und entlastend gegenüber den Versuchen ohne Kühlkleidung (2).

### 8.1.3 Weitere Anwendungen

Auf die systematische Anwendung von Kühlwesten zur Mikroklima-Akklimatisierung an warmen Arbeitsplätzen in Südafrika wurde bereits unter **Punkt 4.5** näher eingegangen.

Trotz der dargestellten Erfolge bei den Versuchen in den Klimakammern werden im deutschen Steinkohlenbergbau derzeit an den warmen Arbeitsplätzen keine Kühlwesten eingesetzt.

Für die Zukunft könnte ihr Einsatz, bei weiter steigender Klimabelastung, aber durchaus an Bedeutung gewinnen.

Durch noch weiter fortschreitende Mechanisierung und Automatisierung wird die Zahl der Bergleute vor Ort weiter abnehmen. Daraus leitet sich die Frage ab, ob es dann sinnvoll ist, mit großem Aufwand eine gesamte Grube oder große Teile davon zu kühlen.

Die Alternative ist der Übergang zu Kleinst- und Individualkühlung.

Für die Kühlkleidung sind die Forderungen nach großen und möglichst lang zur Verfügung stehenden Kühlleistungen mit möglichst geringem Gewicht und großer Beweglichkeit zu verbinden.

### 8.1.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

*Der persönliche Klimaschutz ist eine andere Strategie, den Bergmann vor den Auswirkungen hoher Klimawerte zu schützen.*

*Der Klimaschutz steht nur ihm persönlich zur Verfügung und muss von ihm als zusätzliches Gewicht getragen werden.*

*Da die Beweglichkeit des Bergmannes erhalten bleiben muss, ist die Kühlkapazität der Kühlkleidung begrenzt. Erforderlichenfalls muss die Kühlkleidung während der Schicht gewechselt werden.*

*Bei Versuchen in Klimakammern konnte die physiologische Beanspruchung der Probanden gesenkt werden.*

*Systematisch werden in Südafrika Kühlwesten für die Mikroklimaakklimatisierung an heißen Arbeitsplätzen eingesetzt.*

*Für die Zukunft kann Kühlkleidung im deutschen Steinkohlenbergbau bei weiterer Zunahme der Klimabelastung an Bedeutung gewinnen.*

### Literatur:

(1) Taschenbuch für Bergingenieure, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1976, S. 190 - 191

- (2) Mücke, G.: Versuche mit Bergbau-Kühlkleidung, Glückauf 1982, S. 1006 - 1014  
(3) Voß, J.: Grubenklima, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 145 - 155

## 8.2 Hitzeschutzgetränke

Unter **Punkt 4** wurden bereits grundlegende Aussagen über die Auswirkungen des Grubenklimas auf den Menschen gemacht.

Winkhaus berichtete bereits 1924 (1), dass in tiefen, trockenen Gruben das Auftreten von Krampferscheinungen beobachtet wurde (siehe auch **Punkt 4.2**).

Eine Gruppe der Bergleute, die zu Krampferscheinungen neigten, bekam Trinkwasser mit einem Kochsalzanteil von 2,6 g/l. Krampferscheinungen traten nicht mehr auf, und die starke Übermüdung am Ende der Schicht verschwand, verbunden mit einer erheblichen Leistungsuznahme (1).

Besonders gute Erfolge wurden nach Winkhaus mit einer Mischung aus sechs Teilen Natriumchlorid und vier Teilen Kaliumchlorid – entsprechend dem Salzgehalt des Schweißes – erzielt (1).

Die Frage der bei Hitzearbeit sinnvollen Flüssigkeitsaufnahme wurde auch in den folgenden Jahrzehnten untersucht, worauf Kampmann (2) zusammenfassend eingeht. Danach resultiert ein Teil der gesundheitlichen Schwierigkeiten der Beschäftigten daraus, dass die Trinkgewohnheiten aus den „normalen“ Lebensbedingungen auch an den Hitze Arbeitsplätzen beibehalten werden (2).

Kampmann berichtet, dass auch an Hitze Arbeitsplätzen außerhalb des Bergbaus in den 1920er und 1930er Jahren die Ergänzung des Trinkwassers mit Salz erfolgte (2).

Es war zu dieser Zeit allgemein bekannt, dass die sogenannte Wasservergiftung das Ergebnis hoher Trinkmengen war, sofern der dadurch verursachte Elektrolytverlust nicht durch Salzzugaben ausgeglichen wurde.

Ursprünglich war die Strategie zur Vermeidung der Hitze Krämpfe die Begrenzung der Trinkmengen. Später wurde klar, dass die Vermeidung der Dehydratation der wichtigste Faktor zur Vermeidung von Gesundheitsstörungen unter Hitzebelastung ist (2).

Die Rehydratation mit hypotonen Getränken – das sind solche, deren Salzgehalt (und insbesondere der Na<sup>+</sup>-Gehalt) niedriger liegt als im extrazellulären Flüssigkeitsvolumen – kann bei extremen Ausdauerleistungen zu einer Wasserintoxikation, also Wasservergiftung, führen. Daraus folgt, dass beim Flüssigkeitsersatz genug Na<sup>+</sup> in den Getränken enthalten sein soll (2).

Entsprechend sind für die Hitzearbeit in Untertagebetrieben isotonische Getränke, mit ausreichendem Elektrolytinhalt, zur Verfügung zu stellen.



*Parallel wurden auch in der Sportmedizin entsprechend Getränke zum Ausgleich des Flüssigkeits- und Elektrolytverlustes entwickelt. Für die Zukunft könnten diese Entwicklungen auch im Bergbau genutzt werden.*

**Literatur:**

(1) Winkhaus, H.: Gesundheitliche Einwirkungen hoher Wittertemperaturen, Glückauf 1924, S. 129 - 131

(2) Kampmann, B.: Zur Physiologie der Arbeit in warmem Klima. Ergebnisse aus Laboruntersuchungen und aus Feldstudien im Steinkohlenbergbau, Habilitationsschrift, Wuppertal, 2000, S. 25 - 30

## 9. Zusammenfassende Überlegungen

### 9.1 Beurteilung der Maßnahmen aus heutiger Sicht

Die frühe Befassung mit dem Thema der Klimabelastung des Menschen entstand aus der für einige Bergwerke existentiellen Notwendigkeit, die Bedingungen für die Bergleute so zu gestalten, dass ein Bergbau überhaupt möglich war. Das galt besonders für die tiefen, warmen Gruben im östlichen Ruhrrevier.

Auf die dortige Pionierleistung von Winkhaus, Jansen und anderen wurde bereits eingegangen.

Die Untersuchungen gingen im wesentlichen von konkreten Messungen aus, so dass die Ergebnisse und daraus resultierenden Maßnahmen, obwohl auf der Basis physikalischer Zusammenhänge, eher empirisch gefunden wurden.

Die eigentliche wissenschaftliche Befassung mit dem Thema erfolgte erst nach dem zweiten Weltkrieg.

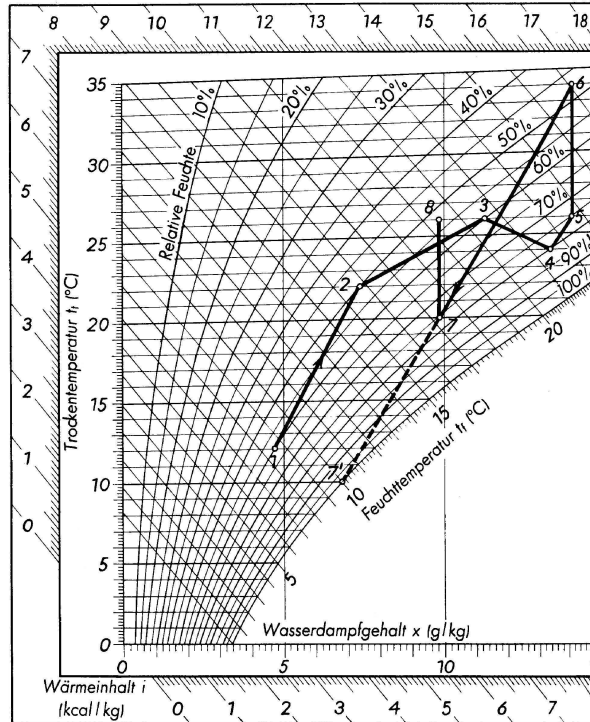
Mit einigen seit den 1950er Jahren veröffentlichten grundsätzlichen Aussagen, die sich dem Thema des Grubenklimas und seiner Ursachen und Auswirkungen wissenschaftlich widmen, soll versucht werden, vorgeschlagene Maßnahmen zur Beherrschung des Grubenklimas – im Nachhinein – zu beurteilen. Insbesondere sollen Aussagen dazu getroffen werden, warum eine Reihe der vorgeschlagenen Maßnahmen erfolgreich war und andere nicht.

#### 9.1.1 Wissenschaftliche Veröffentlichungen als Grundlage für eine Beurteilung

1954 veröffentlichte Weuthen (**1**) eine Ausarbeitung zum ix-Diagramm und seine Anwendung bei grubenklimatischen Untersuchungen.

Durch Wärmebilanzen, in denen die von den Wettern aufgenommene Wärme, gegliedert nach ihren Quellen und Arten der Entstehung, der abgeführten Wärmemenge gegenüber gestellt wird, lassen sich nach Weuthen die Ursachen für klimatische Schwierigkeiten örtlich eingrenzen und die Wirkung von Maßnahmen zur Verbesserung des Grubenklimas beurteilen (**1**).

Für die bildliche Darstellung des Zustandes der Grubenwetter und der Wärmeaufnahme zwischen zwei Punkten des Wetterweges eignet sich nach Weuthen besonders das ix-Diagramm (**Bild 1**).



**Bild 1: Beispiel für den Verlauf einer Zustandsänderung von Grubenwettern im ix-Diagramm**

Das ix-Diagramm beinhaltet eine Darstellung des Wärmehaltes – oder Enthalpie –  $i$  in kcal/kg und des Wasserdampfgehaltes  $x$  in kg/kg in einem schiefwinkligen Koordinatensystem. Die Neigung der y-Achse mit dem Maßstab für den Wärmehalt wird so gewählt, dass im Schnittpunkt der Koordinaten ( $i = 0$ ;  $x = 0$ ) die zugehörige Temperaturlinie für die Trockentemperatur ( $t_t = 0$ ) eine Waagerechte bildet (**I**).

Der Wärmehalt oder die Enthalpie feuchter Luft, bestehend aus 1 kg trockener Luft und  $x$  kg Wasserdampf, wird dabei nach folgender Gleichung berechnet (**I**):

$$i = t_t \cdot c_p + x \cdot t_t \cdot c + x \cdot r$$

Darin bedeuten:

- $i$ .....Wärmehalt oder Enthalpie [kcal/kg]
- $t_t$ .....Trockentemperatur [°C]
- $c_p$ .....spezifische Wärme trockener Luft [kcal/kg°C]
- $x$ .....Wasserdampfgehalt in 1 kg trockener Luft [kg/kg]
- $c$ .....spezifische Wärme von Wasserdampf [kcal/kg°C]
- $r$ .....Verdampfungswärme von Wasser [kcal/kg]

Später – nach Einführung des SI-Systems – wurde das ix-Diagramm durch das hx-Diagramm ersetzt, in dem die Enthalpie in kJ/kg ausgedrückt wird; darauf wird später noch eingegangen.

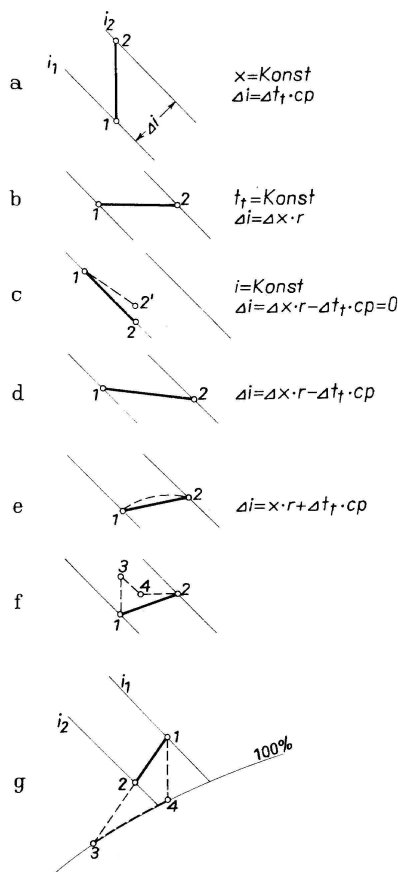
In der Regel sind im ix-Diagramm neben den Linien des Wärmehaltes und der Trockentemperatur die Werte der relativen Feuchte eingetragen, die sich jeweils nur auf einen bestimmten Luftdruck beziehen.

Da der Einfluss des Luftdrucks nicht sehr groß ist, genügen Diagramme in relativ großen Druckabstufungen (**I**).

Eine weitere Ergänzung erfährt das ix-Diagramm durch die Eintragung der Linien gleicher Feuchttemperatur, die annähernd parallel zu den i-Linien laufen.

Damit lässt sich aus den gemessenen Werten für Feucht- und Trockentemperatur der Zustand der Grubenwetter ablesen, und zwar der Wärmehalt sowie die absolute und relative Feuchte (**I**).

Weuthen (**I**) beschreibt Zustandsänderungen der Grubenwetter und die daraus resultierende Darstellung im ix-Diagramm; der Einfachheit halber sind für die einzelnen Fälle nur jeweils zwei i-Linien dargestellt, und zwar  $i_1$  für den Ausgangswert und  $i_2$  für den Endwert des Wärmehaltes bei einer Zustandsänderung (**Bild 2**):



**Bild 2: Beispiele für Zustandsänderungen im ix-Diagramm**

- Fall **a**, Erwärmung ohne Änderung des Wasserdampfgehaltes

Die Zustandsänderung erfolgt ausschließlich durch die Erhöhung der Trockentemperatur, und der Wasserdampfgehalt bleibt konstant. Dieser Fall tritt ein, wenn die Wetter in einer völlig dichten Lutte

erwärmt werden oder in einer vollkommen trockenen Strecke. Die Erhöhung des Wärmeinhaltes oder der Enthalpie erfolgt dann nach der Gleichung

$$\Delta i = \Delta t_t \cdot c_p.$$

- Fall **b**, Befeuchtung ohne Änderung der Temperatur

Der Zustand tritt ein, wenn der Wasserdampfgehalt zunimmt und die Trockentemperatur unverändert bleibt. Die zur Verdunstung erforderliche Wärme wird dann nicht den Wettern sondern ausschließlich dem Gestein entzogen.

Die Gleichung für die Zustandsänderung lautet dann

$$\Delta i = \Delta x \cdot r.$$

- Fall **c**, Adiabatische Zustandsänderung

Weuthen erwähnt die Zustandsänderung als Sonderfall, bei dem die Wetter ohne Wärmezufuhr befeuchtet werden. Er tritt ein, wenn den Wettern Wasser in fein verteilter Form, zum Beispiel durch Nebeldüsen, zugesetzt wird. Dabei wird die Verdunstungswärme ausschließlich den Wettern entzogen, und die Trockentemperatur nimmt ab.

Die relative Feuchte nimmt zu, und die Feuchttemperatur bleibt etwa konstant.

Die Zustandsgleichung lautet

$$\Delta i = \Delta x \cdot r - \Delta t_t \cdot c_p = 0.$$

Die Güte einer Befeuchtung kann nach Weuthen daher an Hand einer Messung der Zustandsänderung beurteilt werden.

Ist die Befeuchtung durch Düsen so vollständig, dass das Wasser restlos in Dampfform aufgenommen wird, bleibt der Wärmeinhalt unverändert. Fällt ein Teil des vernebelten Wassers jedoch in Tropfenform aus und benetzt das Gestein, so wird bei dessen Verdunstung neben den Wettern auch dem Gestein Wärme entzogen, und der Verlauf der Zustandsänderung wird in etwa von **1** nach **2'** erfolgen, das heißt der Wärmeinhalt der Wetter um den Betrag ansteigen, der aus dem Gebirge stammt.

- Fall **d**, Wasserdampfaufnahme verbunden mit Abkühlung

Dieser Fall schließt an Fall **b** an.

Die verdunstenden Wassermengen sind so groß, dass die zur Verdunstung notwendige Wärme nicht aus dem Gebirge alleine geliefert werden kann.

Die Wärme wird daher auch den Wettern entzogen, deren Temperatur dadurch sinkt.

Die Zustandsgleichung lautet dann

$$\Delta i = \Delta x \cdot r - \Delta t_t \cdot c_p.$$

Das mittlere Glied  $x \cdot t_t \cdot c$  wurde nach Weuthen wegen seiner geringen Größe vernachlässigt.

- Fall **e**, Wasserdampfaufnahme verbunden mit Erwärmung

Am häufigsten tritt zwischen zwei Punkten eines Wetterweges eine Zustandsänderung auf, bei der sowohl die Trockentemperaturen als auch der Wasserdampfgehalt ansteigen.

Sind diese Punkte nicht zu weit voneinander entfernt, kann der Verlauf als geradlinig angesehen werden.

Da die Wärmeübertragung und Verdunstung längs des Wetterweges variieren, kann der reale Verlauf zum Beispiel der gestrichelten Kurve entsprechen.

- Fall **f**, Aufgliederung in Einzelvorgänge

Ein besonderer Fall liegt dann vor, wenn ein Teil des Wetterweges trocken ist und die Wetter ohne Erhöhung des Wasserdampfgehaltes erwärmt werden.

In einem anschließenden Teil sollen die Wetter so feucht sein, dass die Verdunstungswärme ausschließlich den Wetter entzogen wird, zum Beispiel durch die Verwendung von Nebeldüsen.

Der Kurvenverlauf zwischen beiden Punkten ist dann nicht direkt von **1** nach **2**, sondern die Zustandsänderung läuft über die Punkte **3** und **4** nach **2**.

Von **1** nach **3** findet eine Erwärmung bei unverändertem Wasserdampfgehalt – weil die Strecke auf diesem Stück trocken ist – statt (analog Fall **a**).

Von **3** nach **4** kühlen die Wetter bei gleichem Wärmeinhalt als Folge der Wasserdampfaufnahme (wie Fall **c**) ab, und von **4** nach **2** erfolgt die Wasserdampfaufnahme der Wetter bei unveränderter Trockentemperatur, analog Fall **b**.

Von **3** nach **4** wird die Wärme ausschließlich den Wetter, von **4** nach **2** ausschließlich dem Gebirge entzogen.

Damit sind auch die beiden grundsätzlichen Wirkungen der Wasserverdunstung beschrieben, die entweder eine Senkung der Trockentemperatur der Wetter oder Auskühlung des Gebirges bewirken kann.

- Fall **g**, Zustandsänderungen in einem Wetterkühler

Die Wetter treten mit einem Zustand, der durch Punkt **1** beschrieben ist, in den Kühler ein.

Liegt die Kühler Temperatur unter der Sättigungstemperatur der Wetter,

findet neben der Temperatursenkung auch eine Wasserabscheidung statt.

Betrachtet man ein Luftteilchen, das mit der Kühlfläche unmittelbar in Berührung tritt und das Zeit genug hat, sich auf die Kühler Temperatur abzukühlen, so ändert sich sein Zustand zunächst von **1** nach **4**, dem Sättigungspunkt bei unverändertem Wasserdampfgehalt.

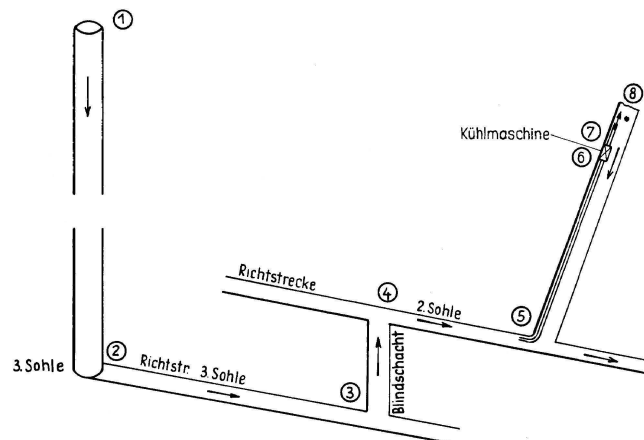
Danach wandert das Luftteilchen entlang der Sättigungslinie bis zum Punkt **3**, der der Oberflächentemperatur des Kühlers entspricht. Dabei fällt ein Teil des Wasserdampfes aus und wird als Kondenswasser niedergeschlagen.

Da nicht alle Luftteilchen den Kühler bei Durchgang der Wetter direkt berühren, bleiben ihre Temperatur und ihr Wasserdampfgehalt höher als bei dem oben beschriebenen Teilchen.

Es findet daher im Kühler und kurz dahinter eine Mischung statt, und der mittlere Zustand aller Teilchen erreicht nach Weuthen (**I**) den Punkt **2**; man findet diesen Punkt auf der direkten Verbindung zwischen Eintrittszustand und Kühler Temperatur. Voraussetzung ist nach Weuthen, dass  $i_1$  und  $i_2$  die Mittelwerte des Zustandes sämtlicher Luftteilchen vor und hinter dem Kühler bedeuten.

Im weiteren geht Weuthen (**I**) auf die Zustandsänderung der Wetter vom Eintritt in die Grube bis vor Ort ein.

Der Weg durch die Grube ist im **Bild 3** dargestellt; die Wege der Zustandsänderung in **Bild 1**.



**Bild 3: Wetterweg zu dem Beispiel**

Weuthen (**I**) beschreibt die Zustandsänderung wie folgt: „Die Wetter treten mit einer Temperatur von  $13^\circ$  und einer relativen Feuchte von 60% in den Schacht ein. Der Zustand ist in Punkt **1** eingetragen. Am Füllort (3. Sohle) erreicht der Zustand den Punkt **2** mit einer Temperatur von  $22^\circ$  bei 50% Feuchte. Der Schacht ist trocken und die Wasserdampfaufnahme gering. In der Richtstrecke auf der 3. Sohle bis zu einem Blindschacht ändert sich der Zustand bis zum Punkt **3** ( $26^\circ$ , 60%). Infolge feuchter Streckensohle, offener Wasserseigen usw. ist die Wasserdampfaufnahme groß. Das gleiche gilt für den nassen Blindschacht, in dem die Wetter zur 2. Sohle, Punkt **4** ( $24^\circ$ , 80%), aufsteigen.

Hier ist die Wasserdampfaufnahme so groß, dass, unterstützt durch die Druckverminderung infolge der Teufenabnahme, eine Temperatursenkung eintritt. Von 4 nach 5 (26°, 75%) erfolgt eine Zustandsänderung der Wetter in der Richtstrecke auf der 2. Sohle bis zum Abzweig in einen sonderbewetterten Querschlag.

Die Bewetterung darin erfolgt blasend unter Verwendung dichter Lutten. Die Zustandsänderung von 5 nach 6 (34°, 47%) geht ohne Wasserdampfaufnahme vor sich. Am Ende der Strecke werden die Wetter einer Kühlmaschine zugeführt, in der sie auf den Punkt 7 (20°, 75%) abgekühlt werden. Bei der Abkühlung, die auf der Linie 6 bis 7' erfolgt, wobei 7' die Kühler Temperatur (10°) darstellt, fällt ein Teil des in den Wettern enthaltenen Wassers aus, so dass neben der Temperatur auch der Wasserdampfgehalt sinkt. Von der Wetterkühlmaschine, die aus betrieblichen Gründen nicht unmittelbar bis vor Ort vorgeschoben werden kann, gelangen die gekühlten Wetter durch eine Luttenleitung bis zum Betriebspunkt, wo sie mit 26° und etwa 52% austreten. Der Verlauf von 7 nach 8 ist kennzeichnend für dichte Lutten, jedoch hohe Kälteverluste wegen des starken Temperaturgefälles zwischen der kalten Lutte und den warmen Wettern und wegen des Fehlens einer Luttenisolierung.

Aus dem Verlauf der Zustandsänderungen der Grubenwetter im ix-Diagramm ist zu erkennen, in welchen Teilen der Grube eine besondere Temperaturzunahme und in welchen eine hohe Wasserdampfaufnahme stattfindet, so dass entsprechende Maßnahmen zur Beseitigung irgendwelcher Missstände und klimatischer Schwierigkeiten ergriffen werden können. Die Wirkungen derartiger Klimatisierungsmaßnahmen können wiederum an Hand des ix-Diagramms beurteilt werden. Als Beispiel sei angeführt, dass eine Trocknung der Grubenwetter um 5 g je kg bei unveränderter Temperatur den Wärmeinhalt der Wetter um den gleichen Betrag herabsetzt wie eine Kühlung um 12°C bei unverändertem Wasserdampfgehalt.“

Mit der Einführung des SI-Systems wurde statt des ix-Diagramms, das auf den technischen Einheiten beruhte, das hx-Diagramm eingeführt (2). Während der Wärmeinhalt  $i$ , der in kcal/kg ausgedrückt wurde, durch die Enthalpie  $h$  in kJ/kg ( 1 kcal = 4,19 kJ) ersetzt wurde, änderte sich an den Zusammenhängen nichts.

Die Darstellungen im ix-Diagramm wurden jeweils auf einen bestimmten Luftdruck in Torr bezogen; im hx-Diagramm wird als Einheit für den Luftdruck bar bzw. mbar verwendet ( 750 Torr = 1 bar = 1.000 mbar = 100 kPa).

Für die Enthalpie  $h$ , oder spezifischen Wärmeinhalt der Wetter, ergibt sich nach Voß (2), analog zu Weuthen (1), dann folgende Beziehung:

$$h = c_{pL} \cdot t_i + c_{pD} \cdot x \cdot t_i + r_v \cdot x \quad [\text{kJ/ kg}]$$

$c_{pL}$ ..... 1kJ/ kg K, spezifische Wärme trockener Luft

$t_i$ .....Trockentemperatur der Wetter in °C

$c_{pD}$ .....1,93 kJ/ kg K, spezifische Wärme des Wasserdampfes

$x = m_D/ m_L$  in kg/ kg

$m_D$ .....Masse des Wasserdampfes in kg

$m_L$ .....Masse der trockenen Luft in kg



$r_v$ .....2.500 kJ/ kg, Verdampfungswärme des Wasserdampfes bei  
bei einer Temperatur von 0°C

Zur Wärmeaufnahme der Wetter führt Voß (2) weiter aus, dass vor allem die in  
einer Zeiteinheit übertragene Wärmemenge  $Q$  in [W] von Interesse ist. Die  
Bestimmungsgleichung für die Wärmeaufnahme der Wetter lautet dann:

$$Q = m_w \cdot c_{pL} \cdot \Delta t_i \quad [\text{W}]$$

$m_w$ .....kg/ s, Massenstrom der Wetter.

Diese Gleichung gilt nur, wenn die Wetter lediglich eine Temperaturänderung  
erfahren. Bei den Grubenwettern wirkt aber neben der Temperaturänderung ein  
Wärmeaustausch durch Aufnahme (Verdunstung) oder Abgabe (Kondensation)  
von Wasserdampf (2).

Deshalb ist die Gleichung, die nicht nur die Temperaturänderung sondern die  
Enthalpieänderung berücksichtigt, für die Wärmeänderung anzuwenden (2):

Wärmeaufnahme  $Q = m_w \cdot \Delta h$  in [W].

Die Wärmeaufnahme  $Q$  ist damit proportional zum Massenstrom der Wetter  
und zur Enthalpiedifferenz.

Setzt man für  $\Delta h$  ein, so ergibt sich nach Voß:

$$Q \sim m_w (c_{pL} \cdot \Delta t_i + c_{pD} \cdot x \cdot \Delta t_i + r_v \cdot \Delta x) \quad [\text{W}].$$

Der Anteil  $m_w \cdot r_v \cdot \Delta x$  wird als latente, das heißt verborgene, Wärme  
bezeichnet.

Diese Bezeichnung ist nach Voß (2) nicht ganz zutreffend gewählt, denn man  
kann sie als Klimaverschlechterung fühlen und auch messen, allerdings nicht  
mit dem trockenen Thermometer.

Bei der Wärmeübertragung vom Gebirge auf die Wetter ist die Konvektion  
entscheidend, die sich berechnen lässt (2):

$$Q_K = \alpha_K (t_o - t_i) A \quad [\text{W}]$$

$Q_K$ .....durch Konvektion übertragene Wärmemenge in [W]

$\alpha_K$ .....Wärmeübergangszahl [W/ m<sup>2</sup> K]

$t_o$ .....Oberflächentemperatur in [°C]

$A$ .....Übertragungsfläche in [m<sup>2</sup>]

Die durch Konvektion übertragenen Wärmemenge ist proportional der  
Temperaturdifferenz zwischen der Gesteinsoberfläche und den Wettern sowie  
der Größe der Übertragungsfläche.

Der Proportionalitätsfaktor  $\alpha_K$  hängt vor allem von der  
Oberflächenbeschaffenheit (Rauhigkeit) und der Wettergeschwindigkeit ab(2).  
Sowohl mit steigender Rauhigkeit als auch mit steigender  
Wettergeschwindigkeit nimmt  $\alpha_K$  zu.

## 9.1.2 Beurteilung der Maßnahmen zur Klimabeherrschung mit den unter 9.1.1 dargestellten Grundlagen

*Im Folgenden soll der Versuch unternommen werden, oben aufgeführte Maßnahmen mit Hilfe der unter 9.1.1 dargestellten Grundlagen zu beurteilen; vor allem bezogen auf die Frage, warum ein Teil der Maßnahmen erfolgreich war und andere nicht.*

*Die Zusammenhänge um die Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe der Wetter, um Ursachen und Wirkungen sind in der Regel komplex, (siehe auch **Punkt 7.2.2.2**).*

*Es lassen sich jedoch einige grundsätzliche Aussagen treffen:*

- *Aus der Gleichung für die Enthalpie nach Voß (2) lässt sich ableiten, dass alle Maßnahmen, die die trockene Erwärmung der Wetter ( $t_i$ ) begrenzen, und alle Maßnahmen, die den Wasserdampfgehalt  $x$  der Wetter nicht erhöhen oder – bei der Trocknung oder Wasserabscheidung – sogar senken, vorteilhaft sind.*
- *Da nach Voß (2) die Wärmeaufnahme  $Q$  proportional zur Enthalpieänderung  $\Delta h$  ist, sind alle Maßnahmen günstig, die die Erhöhung der Klimawerte so begrenzen, dass die Enthalpiedifferenz möglichst gering ist.  
Umgekehrt ist bei Kühlungsmaßnahmen natürlich eine möglichst große Enthalpiedifferenz in die andere Richtung erwünscht.*
- *Die Wettermenge, oder der Massenstrom der Wetter, führt einerseits zu einer Erhöhung der Wärmeaufnahme. Andererseits führt eine höhere Wettermenge zu einer verstärkten Abführung der Wärme und zu einer höheren Wettergeschwindigkeit, die die klimatischen Verhältnisse - ausgedrückt durch die Effektivtemperatur – für die Bergleute erträglicher macht.*
- *Nach Voß (2) ist die durch Konvektion übertragene Wärmemenge proportional zur Temperaturdifferenz zwischen den Wettern und der Übertragungsfläche sowie zur Größe der Übertragungsfläche.  
Daraus folgt, dass Maßnahmen sinnvoll sind, die die Temperaturdifferenz möglichst klein halten.  
Da für die Wetter möglichst geringe Trockentemperaturen angestrebt werden, ist sinnvollerweise die Temperatur der Übertragungsfläche möglichst gering zu halten. Das gilt sowohl für das Gebirge als auch für Rohrleitungen und Lutten.*
- *Die Wärmeübergangszahl  $\alpha_k$  ist proportional zur Rauigkeit der Oberfläche, wird daher durch Glättung der Oberfläche kleiner, und zur Wettergeschwindigkeit. Bei der Wettergeschwindigkeit gilt das Gleiche wie oben bei den Aussagen zum Massenstrom der Wetter.*

*Im Folgenden sollen Maßnahmen im einzelnen nach den Kriterien beurteilt werden.*

- *Die Kühlung mit Eis war das erste und naheliegendste Mittel zur Senkung der Trockentemperaturen.  
Die latente Wärme des Eises als Schmelzwärme vom festen auf den flüssigen Aggregatzustand und die Wärmekapazität des aus dem Eis entstehenden Wassers sind in der Lage, den Wetter Wärme zu entziehen und damit die Trockentemperaturen zu senken.  
Gegenläufig wurden bei der – ursprünglich offenen – Anwendung des Eises die Wetter bis zur Sättigungsgrenze mit Wasserdampf belastet. Die daraus entstehenden hohen Feuchttemperaturen führten dazu, dass dieses Verfahren teilweise eingestellt werden musste, weil die Klimaverhältnisse für die Bergleute unerträglich geworden waren.  
Erst als es gelang, das Eis als Kälte­träger über geschlossene Wärmetauscher von den Wetter ab­zuschirmen, konnten die günstigen physikalischen Einflüsse genutzt werden, das heißt, es kommt zu einer Verringerung des Wärmeinhalts der Wetter.*
  
- *Die Nutzung der Verdunstungskälte war zunächst geeignet, die Trockentemperaturen so zu senken, dass die gesetzlich vorgeschriebene Grenztemperatur häufig unterschritten werden konnte.  
Dieser Effekt, der aus der Berieselung der Kohle zur Staubbindung bekannt war, wurde durch den Einsatz von Nebeldüsen erzielt.  
Theoretisch könnte es dabei zu einer adiabatischen Zustandsänderung im ix- oder hx-Diagramm kommen, bei der die Verringerung der Trockentemperatur und die Erhöhung des Wasserdampfgehaltes durch die Verdunstung auf einer Geraden konstanter Enthalpie verläuft.  
Praktisch wird ein Teil des Wassers jedoch kondensieren und das Gebirge benetzen. Bei der Verdunstung dieses Wassers wird zusätzlich dem Gebirge Wärme entzogen, die zu einer Enthalpieerhöhung der Wetter führt und damit zu einer Klimaverschlechterung.  
Außerdem wird im ix- oder hx-Diagramm deutlich, dass sich die relative Luftfeuchtigkeit in Richtung zur Sättigungslinie bewegt, wodurch die Bedingungen für die Bergleute unerträglich werden.  
Auf Betreiben der Bergleute wurde der frühe Einsatz von Nebeldüsen zur Senkung der Trockentemperaturen eingestellt.  
  
Erst eine Weiterentwicklung der Technologie zur Sprühkühlung, auf die noch eingegangen wird, führte zu einer sinnvollen Anwendung der physikalischen Zusammenhänge.*
  
- *Analog zur Wasservernebelung wirken Wässer, die aus anderen Gründen – als Zuflüsse aus dem Gebirge oder aus der Berieselung – mit den Wetter in Berührung kommen. Die weitgehende Vermeidung des Kontaktes wirkt sich in klimatischer Hinsicht ebenfalls positiv aus. Bei Gebirgswasser, das mit erheblicher Wärmelast in Kontakt mit den Wetter kommt, verhindert eine kontrollierte Ableitung nicht nur die Erhöhung des Wasserdampfgehaltes der Wetter, sondern auch deren trockene Erwärmung.  
Im ix- und hx-Diagramm wird dadurch eine höhere Enthalpie bzw. Feuchttemperatur vermieden.*

*Entsprechende Maßnahmen werden erfolgreich umgesetzt.*

- *Die entgegengesetzte Wirkung der Wetterbefeuchtung zeigt deren Trocknung, die mit der Verringerung des Wasserdampfgehaltes zu einer geringeren relativen Luftfeuchtigkeit und Feuchttemperatur sowie zu einer niedrigeren Enthalpie führt.*

*Die Trocknung der Wetter mit Absorptionsmitteln erzielte die gewünschte Wirkung, jedoch waren diese Verfahren zu aufwändig, so dass sie keine große Bedeutung erlangten.*

*Den gleichen Effekt zeigen physikalische Verfahren, die, beginnend in den 1920er Jahren (Morro Velho), bis heute angewandt werden, durch Wasserabscheidung in Kälteanlagen und bei der Drucklufterzeugung.*

- *Eine andere Strategie ist die Kühlung von Betriebswasser, das ohnehin verbraucht wird.*

*Erste Anregungen gab es bereits im 19. Jahrhundert.*

*Die geringere Temperatur des gekühlten Wassers, und damit nach dessen Austritt des Wasserdampfes in den Wetter, führt zu einer geringeren Enthalpie und Feuchttemperatur der Wetter als es bei ungekühltem Betriebswasser der Fall wäre.*

*Das Verfahren findet bis heute Anwendung, zum Beispiel in Südafrika, wo „chilled water“ als Betriebswasser verwendet wird.*

- *Die gleiche Wirkung zeigt Druckluft, die nach der Kompression gekühlt wurde – auf den zusätzlichen Effekt der Wasserabscheidung wurde bereits eingegangen – und beim Ausströmen in die Wetter aus einer Arbeitsmaschine entsprechend niedrige Temperaturen hat.*

*Da sie selbst wenig Feuchtigkeit hat, wird der Wasserdampfgehalt der Wetter, in die sie strömt, gesenkt, und zusammen mit der niedrigen Trockentemperatur verringern sich Enthalpie und Feuchttemperatur der Wetter.*

*Die Kühlung und Trocknung der Druckluft – Anregungen stammen bereits von Dietz im Jahre 1911 – sind heute ein Standardverfahren im Bergbau.*

*Durch die Kühlung der Druckluft wird verhindert, dass über Konvektion größere Wärmemengen aus der komprimierten Druckluft in die Wetter übergehen.*

*Die Konvektion ist nach Voß (2) proportional dem Temperaturunterschied zwischen der Übertragungsfläche – in diesem Fall das Äußere der Druckluftleitung – und den vorbeistreichenden Wetter.*

*Die Druckluft erwärmt sich beim Kompressionsvorgang stark. Würde sie nicht gekühlt, hätten die Druckluftleitungen einen großen Temperaturunterschied zu den Wetter und würden zu einer Erhöhung der Trockentemperatur, verbunden mit einer Erhöhung der Enthalpie, führen.*

- *Die Verhinderung des Wärmeübergangs in die Wetter kann auch mit anderen Mitteln erreicht werden.*

*Dazu zählen die Isolierung von Lutten und Rohrleitungen. Während die Isolierung der Zuläufe zu den Wärmetauschern aus der Kälteanlage verhindern soll, dass sich der Kälteträger frühzeitig erwärmt, hat die Isolierung des Rücklaufs den Sinn, den Wärmeübergang von den warmen Rohrleitungen auf die Wetter zu verhindern. Der Effekt wurde oben bereits geschildert.*

*Die Maßnahmen sind wirksam, teilweise aber sehr aufwändig.*

- *Die größte Wärmemenge wird aus dem Gebirge frei. Um den Wärmeübergang zu begrenzen, muss auch hier der Temperaturunterschied zu den Wettern möglichst gering gehalten werden.*

*Eine Möglichkeit ist die Isolierung der Grubenbaue, die in den 1920er Jahren, ausgehend von der Zeche Radbod, erfolgreich eingesetzt wurde.*

*Auch mit dieser Maßnahme wurde durch die Begrenzung der trockenen Erwärmung – die Abdichtung gegen zulaufende Gebirgswässer soll hier nicht betrachtet werden – eine größere Wärmeübertragung aus dem Gebirge in die Wetter durch Konvektion verhindert.*

*Die Isolierung der Grubenbaue steht im Gegensatz zu der anderen, langfristig angelegten, Strategie, dem Aufbau eines Kälte- oder Wärmeausgleichsmantels.*

*Durch die gezielte Auskühlung des Gebirges um die Wetterwege – für das Maß der Auskühlung nennt Voß (2) den Begriff des Altersbeiwertes – verringert sich der Wärmestrom aus dem Gebirge in die Wetter, mit dem Effekt einer geringeren Trockentemperatur und damit Enthalpie. Dieser Effekt wurde bereits in den 1920er Jahren erkannt und ist auch heute noch ein wichtiger Beitrag zur Kühllhaltung der Gruben, weil die durch Konvektion von den Wettern aufgenommene Wärme durch die geringere Temperaturdifferenz verringert wird.*

*Zu Zeiten, in denen die einziehenden Wetter wärmer sind als das umgebende Gebirge, kommt es zu einem Wärmefluss aus den Wettern in das Gebirge, also zu einer Senkung der Enthalpie durch sinkende Trockentemperaturen.*

*Aus diesem Zusammenhang resultiert der Terminus Wärmeausgleichsmantel.*

*Weiter hängt die durch Konvektion übertragene Wärmemenge von der Höhe der Wärmeübergangszahl ab, die wiederum eine Funktion der Oberflächenbeschaffenheit oder Rauigkeit des Grubenbaues darstellt. Bereits in den 1920er Jahren wurden Strecken durch Verkleiden mit Brettern geglättet und gute Erfolge erzielt.*

*Moderner Streckenausbau erfüllt- zum Beispiel durch Torkretieren – durch seine Ausgestaltung ebenfalls diese Anforderungen.*

*Der dritte Proportionalitätsfaktor für die Wärmeübertragung durch Konvektion, die Größe der Übertragungs- oder Heizfläche, würde dann zu einer geringeren Wärmeübertragung führen, wenn sie möglichst klein wäre. Die übrigen betrieblichen Anforderungen an die Aus- und Vorrichtungsstrecken verlangen jedoch einen gewissen Mindestquerschnitt, um Transport, Förderung usw. zu gewährleisten, aber auch um die erforderlichen Wettermengen ohne zu hohe*

Wettergeschwindigkeiten bewältigen zu können.  
Aus klimatischer Sicht überwiegt dabei die Möglichkeit, große  
Wettermengen als Instrument zur Kühlhaltung der Grubenbaue  
anwenden zu können, gegenüber dem Einfluss einer möglichst geringen  
Heizfläche.

- Anders waren und sind die Verhältnisse im Abbau, in dem sich wegen  
der Dynamik des Abbaubetriebes kein Kälte- oder  
Wärmeausgleichsmantel bilden kann.  
Damit ist die Temperatur an der Übertragungsfläche am Gebirge  
zunächst nicht beeinflussbar (unter **Punkt 12 Ausblick** wird das Thema  
noch einmal kurz aufgegriffen). Somit ist die Temperaturdifferenz nur  
abhängig von der Wettertemperatur, wobei eine niedrige  
Wettertemperatur zu einer vermehrten Wärmeaufnahme aus dem  
Gebirge und damit Wettererwärmung führt. Daraus resultiert die  
Strategie, die Wetterkühler längs des Strebes zu verteilen.  
Beeinflussbar im Streb ist die Größe der Übertragungsfläche, was in  
den 1920er Jahren in den tiefen, warmen Gruben des östlichen  
Ruhrreviers dazu führte, dass die Abbaquerschnitte so gering wie  
möglich gehalten wurden.  
Dabei wurde darauf geachtet, dass der Versatz konsequent ohne  
Verzögerung eingebracht wurde.  
Durch möglichst dichten Versatz wurde erreicht, dass die  
Versatzoberfläche möglichst glatt war, mit dem Effekt einer niedrigen  
Wärmeübergangszahl, und wenig Wetter über Schleichströme verloren  
gingen.
- Die Klimatisierung hat allgemein die Wirkung einer Kühlung, das heißt  
der Verringerung der Trockentemperatur, und der Wettertrocknung.  
Das gilt für die herkömmlichen Kühlverfahren mit Oberflächenkühlern  
und für die Sprühkühlung, wobei auf Einzelheiten an anderer Stelle  
eingegangen wird (**Punkt 7.2**).  
Bei den beiden Verfahren kommt es zunächst zu einer Verringerung der  
Trockentemperatur, in deren Verlauf der Taupunkt der Wetter  
unterschritten wird, so dass Wasser als Kondensat ausfällt, das aus den  
Wettern entfernt wird. Dadurch verringert sich der  
Wasserdampfgehalt, oder die absolute Feuchtigkeit, der Wetter.  
Beide Effekte, Verringerung der Trockentemperatur und des  
Wassergehaltes, führen zu einer niedrigeren Enthalpie der Wetter.  
Nach Verlassen des Kühlers sind die kühlen Wetter zunächst mit  
nahezu 100% relativer Feuchte gesättigt, die aber mit  
Wiedererwärmung der Wetter absinkt, so dass die Wetter eine  
entsprechende Kühlstärke bekommen.  
Je nach Maß der trockenen Erwärmung und der  
Wasserdampfaufnahme steigt die Enthalpie dann wieder entsprechend  
an.

## Literatur

(1) Weuthen, P.: Das ix-Diagramm und seine Anwendung bei  
grubenklimatischen Untersuchungen, Glückauf 1954, S. 311 - 315

**Bilder**

**Bild 1** Beispiel für den Verlauf einer Zustandsänderung von Grubenwettern im ix-Diagramm




**Bild 2** Beispiele für Zustandsänderungen im ix-Diagramm

**Bild 3** Wetterweg zu dem Beispiel

**9.2 Einige Prozesse zur Einführung und Verbreitung der Klimatechnik**

*Die Einführung, Verbreitung und in einigen Fällen das Ende von Technologien der Klimatechnik sollen in einzelnen Prozessen dargestellt werden. Sofern möglich, sollen die Gründe für Veränderungen in den Prozessen angeführt werden.*

***Kühlung mit Eis***

<b><i>Externe Verknüpfung</i></b>	<b><i>Prozessschritt</i></b>	<b><i>Gründe</i></b>
	<i>Im 19. Jahrhundert Einsatz von Eis auf dem Comstockgang, USA</i>	<i>Geringe geothermische Tiefenstufe mit hohen Temperaturen  Hohe Gold- und Silbergehalte</i>
 <i>Kombination mit Sprühkühlung</i>	<i>1902 Ergänzung der Sprühkühlung im Simplontunnel</i>	<i>Verringerung der Wasserdampfgehalte in den Wettern durch Kondensation des Wassers</i>
 <i>Ablösung durch reine Sprühkühlung</i>	<i>1903 Außerbetriebnahme der Eiskühlung im Simplontunnel</i>	<i>Ergebnisse der Sprühkühlung alleine waren ausreichend  Hohe Kosten  Schwierige Handhabung</i>
	<i>1914 Eiskühlung in der brasilianischen Goldgrube Morro Velho</i>	<i>Große Teufe  Hohe Feuchtigkeit</i>
 <i>Ablösung durch erste Kälteanlage im Bergbau</i>	<i>Nach kurzer Zeit Beendigung des Versuches auf Morro Velho</i>	<i>Kühlerfolg (Trockentemperatur) war nur gering</i>

		<p><i>Wetter wurden durch Schmelzwasser sehr feucht</i></p> <p><i>Bergleute empfanden die Verhältnisse als unerträglich</i></p>
<p>← Fehlende Technologie zur Trennung von Wettern und Eis</p>	<p><i>Ab Ende der 1920er Jahre Sonderbewetterung über Eis im Goldbergwerk Village Deep Mine in Südafrika</i></p>	<p><i>Hohe Temperaturen durch große Teufe</i></p>
<p>← Ersatz durch Kältetechnik</p>	<p><i>Einstellung der Eiskühlung in der Village Deep Mine Anfang der 1930er Jahre</i></p>	<p><i>Trotz der mit Eis erzielten Erfolge war die Kältetechnik mit kleinen, lokalen Kältemaschinen einfacher und wirtschaftlicher</i></p>
<p>⇒ Nutzung neue Technologie: Trennung von Wettern und Eis</p>	<p><i>Ab 1980er bzw. 1990er Jahre Einsatz von Eis als Kälte-träger in den südafrikanischen Goldbergwerken und im deutschen Steinkohlenbergbau</i></p>	<p><i>Geringere Kälte-trägermengen durch latente Wärme im Eis</i></p> <p><i>Geringerer Platzbedarf für Kälte-trägertransport</i></p> <p><i>Bei geöffnetem Kälte-trägerkreislauf geringere Pumpkosten</i></p>
	<p><i>Im südafrikanischen Goldbergbau ist Eiskühlung noch aktuell</i></p>	
<p>← Ersatz durch herkömmliche Kältetechnik</p>	<p><i>Im deutschen Steinkohlenbergbau Ersatz durch Kältetechnik</i></p>	<p><i>Schwierige Regelbarkeit bei den komplexen Kühlsystemen im Abbau</i></p> <p><i>Technisch sehr aufwändig und schwierig</i></p>

### ***Kältetechnik mit Oberflächenkühlern***

<i>Externe Verknüpfung</i>	<i>Prozessschritt</i>	<i>Gründe</i>
<p>⇒ Ersatz für Eiskühlung auf</p>	<p><i>1920 Ersteinsatz von Kältetechnik auf dem</i></p>	<p><i>Hohe Temperaturen</i></p>




<i>Morro Velho</i>	<i>brasilianischen Goldbergwerk Morro Velho</i>	<i>Hohe Feuchtigkeit in den angesaugten Wetter, relativ geringe Feuchtigkeitszunahme unter Tage</i>  <i>Trocknung der Wetter, um höhere Kühlstärken zu erreichen</i>  <i>Eiskühlung war am Widerstand der Bergleute gescheitert</i>
← <i>Brückentechnologie bis Arbeiten zur Vergrößerung der äquivalenten Grubenweite abgeschlossen waren</i>	<i>1923 Einsatz von Oberflächenkühlern unter Tage auf Radbod mit Leitungswasser als Kälte Träger</i>	<i>Durch Teufe hohe Klimawerte</i>  <i>Vergrößerung der äquivalenten Grubenweite dauerte einige Jahre, deshalb Klimatechnik als Brückentechnologie</i>
→ <i>Verwendung verbesserter Technologie der Kälteerzeugung</i>	<i>1924 Inbetriebnahme einer Ammoniakanlage über Tage zur Kühlung des Kälte Trägers</i>	<i>Zu geringe Kühlleistung bei Verwendung von Leitungswasser</i>
← <i>Ersatz durch verbesserte Wetterführung</i>	<i>1926 Außerbetriebnahme der Kälteanlage</i>	<i>Verbesserte Wetterführung reichte zur Beherrschung des Klimas aus</i>  <i>Grubenbrand</i>
→ <i>Teilweise Ersatz früherer Technologien (z.B. Eiskühlung)</i>	<i>Seit etwa 1930 durchgehend Einsatz von Kältetechnik weltweit (vor allem Südafrika, USA, Indien) bis heute</i>	<i>Erfolgreicher Einsatz von Klimatechnik bei Klimaschwierigkeiten</i>
	<i>1949 stationäre zentrale Kälteanlage zur Klimatisierung einer Sohle auf dem belgischen Bergwerk Zwartberg</i>	<i>Zunehmende Klimaschwierigkeiten</i>
→ <i>Neue Technologie</i>	<i>1951 weltweit erste ortsbewegliche Vorortkühlanlagen der Welt auf den Bergwerken Neumühl (Duisburg) und Hansa (Dortmund) Nutzung der Technologie bis heute</i>	<i>Gezielte Kühlung der Arbeitsplätze vor Ort</i>  <i>Vermeidung des hohen Aufwands zentraler Kälteanlagen</i>

	<i>1953 Ortsfeste Abbauklimaanlage auf der Zeche Lohberg zur Klimatisierung von drei Abbaubetriebspunkten</i>	<i>Zunehmende Klimaschwierigkeiten</i>
⇒ <i>Konzeption ähnlich wie auf Radbod</i>	<i>1975 zentrale Wetterkühlanlage mit Kälteerzeugung über Tage auf dem Bergwerk Schlägel &amp; Eisen</i>  <i>1976 Wetterkühlanlage mit zentraler Kälteerzeugung unter Tage auf dem Bergwerk Consolidation</i>  <i>Nutzung der Technologie bis heute im deutschen Steinkohlenbergbau mit zentralen Großkälteanlagen über Tage</i>	<i>Zunehmende Klimaschwierigkeiten</i>


### **Sprühkühlung**

<i>Externe Verknüpfung</i>	<i>Prozessschritt</i>	<i>Gründe</i>
	<i>Berieselung des Kohlenstaubs</i>	<i>Vermeidung von Kohlenstaubexplosionen</i>
	<i>Kühlung des Spritzwassers und damit Wärmeaufnahme aus den Wettern</i>	<i>Kaltes Wasser kann mit großer Oberfläche Wärme aus den Wettern aufnehmen und damit</i>

	<i>Anwendung der Technologie bis heute (chilled water mit der Kühlung ohnehin erforderlichen Betriebswassers)</i>	<i>kühlen Wetter werden nicht zusätzlich belastet, weil Betriebswasser ohnehin anfällt</i>
⇒ <i>Erkenntnisse aus Berieselung und aus Feuchtigkeitsmessungen</i>  ⇒ <i>Einführung von Beschäftigungsgrenzen im Bergrecht</i>	<i>Gezielter Einsatz des Versprühens von Wasser mit Düsen</i>	<i>Erkenntnis, dass die Trockentemperatur der Wetter durch Verdunstungskälte sinkt  Vermeidung von Schichtzeitverkürzungen durch Absenken der Trockentemperaturen</i>
⇐ <i>Fehlende Technologie</i>	<i>Abschalten der Nebeldüsen durch die Bergleute wegen unerträglicher Klimawerte  Erkenntnis, dass durch reines Vernebeln zwar eine Senkung der Trockentemperatur eintritt aber gleichzeitig eine Klimaverschlechterung</i>	<i>Klimaverhältnisse waren für die Bergleute unerträglich  Leistungsrückgang trotz langer Schichtzeit</i>
⇒ <i>Verbesserte Technologie</i>	<i>Entwicklung maschineller Sprühkühler mit der Abscheidung des Kondenswassers nach dem Kühlvorgang</i>	<i>Möglichkeit der Sprühkühlung mit Aufbau eines Kältemantels verstärkt während Zeiten der Betriebsruhe</i>
	<i>Große Sprühkammern in Südafrika mit vorgekühltem Wasser bis heute Standardverfahren</i>	<i>Kühlung und Trocknung der Wetter</i>
⇒ <i>Nutzung der weltweit vorhandenen Technologie</i>	<i>Auch im deutschen Steinkohlenbergbau Einsatz von Sprühkühlung (1980er und 1990er Jahre) sowohl über Tage zur Kühlung des Gesamteinziehstromes eines Schachtes als auch unter Tage in Sprühkühlern und Sprühstrecken</i>	<i>Gute Temperaturabsenkung  Kühlung und Trocknung der Wetter</i>

 <i>Herkömmliche Klimatisierung</i>	<i>Heute keine Sprühkühlung mehr im deutschen Steinkohlenbergbau</i>	<i>Aufwändige Infrastruktur</i>  <i>Verschmutzung der Kühler</i>  <i>Öffnung des Wasserkreislaufes unter Tage führt zu höheren Pumpkosten</i>
--	--	---

### ***Kühlung auf natürlichem Wege***

<i>Externe Verknüpfung</i>	<i>Prozessschritt</i>	<i>Gründe</i>
	<i>Schacht in einem Wald oder an einem Nordhang abteufen</i>	<i>Durch Schattenlage bis zu 2°C niedrigere Ansaugtemperatur</i>
	<i>Ab den 1920er Jahren die Idee, die Wetter durch einen Grubenbau in der neutralen Zone zu saugen mit dem Effekt einer Wittervorkühlung</i>	<i>In der neutralen Zone herrscht im Ruhrrevier eine Temperatur von konstant 9°C</i>  <i>Nutzung der neutralen Zone, wenn Ansaugtemperaturen erheblich höher</i>
	<i>Mitte der 1920er Jahre 60 m lange Kühlstrecke in 34 m Teufe auf der Zeche Sachsen</i>	
 <i>Andere wettertechnische Maßnahmen effektiver</i>	<i>Aufgabe des Verfahrens auf der Zeche Sachsen</i>	<i>Herabkühlung der Wetter zu gering</i>  <i>Entfernung zu den Abbaubetrieben zu groß, daher kaum Effekt</i>
	<i>Vorschlag, mehrere Kühlstrecken aufzufahren, die durch wechselnde Beaufschlagung ihren Kältemantel regenerieren können</i>	<i>Kältemantel um Kühlstrecken verbraucht sich relativ schnell</i>
	<i>In den 1930er Jahren Vorschlag, den Kältemantel in den</i>	<i>Für die Bewetterung der Grube steht ohnehin kalte Ansaugluft zur</i>

	<i>Kühlstrecken durch kalten Wetterstrom im Winter gezielt zu verstärken</i>	<i>Verfügung Kalte Wetter werden nur durch Kühlstrecken gesaugt</i>
 <i>Erkenntnisse aus der Kältetechnik</i>	<i>Vorschlag, im Winter Wasser in den Kühlstrecken mit Hilfe von Sole, die durch Rohrleitungen strömt, einzufrieren und in den Sommermonaten als Kälte Träger zu nutzen</i>	<i>Latente Wärme im Eis großer Kälteverrat</i>
	<i>Erhöhung des Kälteverrats durch große Steine in den Kühlstrecken</i>	<i>Zusätzliche Masse kann als Kältespeicher dienen</i>
 <i>Einsatz von Klimatechnik</i>	<i>Keine praktische Bedeutung</i>	<i>Wirtschaftlich der Klimatechnik unterlegen</i>

### 9.3 Zusammenfassung der Wärmequellen und Maßnahmen

*In der Darstellung sind im linken Block die Quellen dargestellt, mit denen eine Klimaverschlechterung entstehen kann.*

*Der rechte Block führt die möglichen Maßnahmen auf, mit den eine Klimaverbesserung erreicht werden kann.*

<b>Ursachen für die Klima- verschlechterung</b>		<b>Maßnahmen ohne Klimatisierung</b>	<b>Maßnahmen mit Klimatisierung</b>	<b>weitere Maßnahmen</b>
Höhere Ansaugtemperaturen aus der Atmosphäre		Erhöhung der Wettermengen	Druckluftkühlung	Verdunstung von Wasser
Gebirgswärme		Optimierung des Grubenzuschnitts	Klimatisierung mit Kälteanlagen	Beseitigung von Feuchtigkeitsquellen
Selbstverdichtung		Verkleinerung der Strebquerschnitte	Sprühkühlung	Wettertrocknung
Oxidationswärme		Abwärtsbewetterung	Kühlung des Betriebswassers	Vorkühlung auf natürlichem Wege
Feuchtegehalt der Wetter		Stapelbau	Kühlung mit Eis	Direkte Verwendung von Eis
Kondensationswärme		Versatz		
Zuströmendes Gas		Nutzung des Kältemantels		
Wasser aus warmen Quellen		Abdichtung und Isolierung von Grubenbauen		
Wärme aus Förderung und Haufwerk		Isolierung von Lutten		
Mechanisierung		Isolierung von Rohrleitungen		
Warme Rohrleitungen		Kontrollierte Ableitung von Wasser		

## 10. Offene und ungelöste Fragen

*Die Klimatisierung ist sehr aufwändig und energieintensiv. Es ist zu erwarten, dass zukünftige Strategien zur Kühllhaltung der Gruben von der Entwicklung des Energiepreinsniveaus bestimmt werden.*

*Der Geldwert der Arbeit hat sich im Laufe der Zeit erhöht. Früher, teilweise durchaus erfolgreich, angewendete Verfahren zur Klimabeherrschung waren häufig sehr personalintensiv und sind aus heutiger Sicht zunächst nicht mehr wirtschaftlich anzuwenden.*

*Hier könnten einige der genannten Verfahren durch Anpassung an die technischen Möglichkeiten wieder von Bedeutung werden.*

*Mit der Teufenzunahme steigt neben der Klimabelastung auch der Gebirgsdruck. Während es aus klimatischer Sicht vorteilhaft wäre, Vorleistungsstrecken früh herzustellen – wegen der Ausbildung eines Kältemantels bis zum Beginn des Abbaus – steht dem die gebirgsmechanische Beanspruchung über einen längeren Zeitraum entgegen, die sich auf die Standfestigkeit der Grubenbaue negativ auswirkt. Gesichtspunkte der Kapitalbindung über den längeren Zeitraum sollen hier nicht betrachtet werden.*

*Die Anforderungen an den Zeitablauf der Vorleistung aus gebirgsmechanischer und klimatischer Sicht widersprechen sich daher in vielen Fällen.*

*Der Wärmeübergang aus dem Fördergut und durch Oxidation ist zu begrenzen durch die Isolierung der Stetigförderer.*

*Entsprechend findet eine geringere Methanverdünnung durch die Wetter statt. Ob sich dadurch  $\text{GH}_4$  - Luft – Gemische in kritischem Bereich bilden können, ist zu untersuchen.*

*Noch höhere Betriebspunktkonzentrationen werden im Abbaubereich die Klimabelastungen noch weiter erhöhen.*

*Eine noch weiter zunehmende Mechanisierung und Automatisierung wirft die Frage nach einer Mikroklimatisierung auf, weil es sich wegen der fast mannlosen Gruben dann nicht mehr lohnt, die gesamte Grube oder große Teile davon zu klimatisieren.*

*Grundsätzlich sollte analog zur Vorentgasung die Vorentwärmung von Bauflächen vor dem eigentlichen Abbau überlegt werden.*

*Es wäre vorstellbar – da die Streben in der Regel im Rückbau geführt werden – weit vor dem Abbau das Flöz zwischen Kopf- und Bandstrecke zu durchbohren und die Bohrlöcher z.B. mit billigen Kunststoffrohren zu sichern, die später bei der Gewinnung, Abförderung und Aufbereitung der Kohle keine Schwierigkeiten bereiten.*

*Durch isolierte Rohrleitungen in den Strecken und die Rohre im Flöz könnte dann bis zu einem Schacht ein geschlossener Wasserkreislauf gebildet werden, der dazu führt, dass das Wasser im Flöz Wärme aufnimmt und dadurch eine Vorentwärmung des Flözes und eine klimatische Entlastung der späteren Abbauaktivitäten bewirkt.*

*Über einen Wärmetauscher am Schacht könnte die Wärme an einen geschlossenen Wasserkreislauf im Schacht, mit isolierten HD-Rohren, übergeben werden.  
Interessant ist der Synergieeffekt durch Vorentwärmung des Flözes und Energienutzung über Tage.*

*Erkenntnisse anderer Wissenschaftszweige können bei der Lösung der Klimafrage im Bergbau stärker herangezogen werden.*

*Grundsätzlich stellt sich für den deutschen Steinkohlenbergbau die Zukunftsfrage.  
Sollte der Bergbau über 2018 hinaus betrieben werden können, wird es zu einer weiteren Wanderung in die Teufe kommen.  
Dann besteht weiterhin die Notwendigkeit, aber auch die Möglichkeit, Lösungen für die Beherrschung des Grubenklimas zu erarbeiten.*



## 11. Zusammenfassung

*Zusammenfassende Bemerkungen und Schlussfolgerungen wurden bereits in den einzelnen Kapiteln angefügt, um eine bessere Übersichtlichkeit und Zuordnung zu ermöglichen.*

*Erste Klimaschwierigkeiten traten im Ruhrrevier bereits im 19. Jahrhundert auf.*

*Durch die Nordwanderung des Steinkohlenbergbaus nahm die Mergelüberlagerung immer weiter zu, so dass die Teufen vor allem auf den tiefen, warmen Gruben im östlichen Ruhrrevier erhebliche Klimaschwierigkeiten hervorriefen.*

*Da die Beherrschung des Grubenklimas und die Schaffung erträglicher Bedingungen für die Bergleute in den tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers eine grundsätzliche Voraussetzung war, Bergbau betreiben zu können, wurde dort ein großer Teil der Pionierarbeit zur Klimabeherrschung geleistet.*

*Vorreiter und Motor der Entwicklung waren besonders die Bergwerke Radbod und Sachsen.*

*Im gleichen Zeitraum, in dem im östlichen Ruhrrevier die großen Teufen erreicht wurden, war die preußische Berggesetzgebung so ergänzt worden, dass eine Schichtzeitverkürzung an die Überschreitung der Trockentemperatur von 28°C gekoppelt wurde.*

*Die Ursachen für die Klimaverschlechterung wurden seit dem 19. Jahrhundert zunächst empirisch und später auf der Grundlage theoretischer, vor allem physikalischer, Zusammenhänge erkannt.*

*Die Arbeit geht zunächst auf die Einflussparameter für die Klimaverschlechterung ein und auf die Prozesse, mit denen die Parameter erkannt und genutzt wurden.*

*Als wesentliche Einflussgrößen auf das Grubenklima wurden erkannt:*

- *Temperaturschwankungen der Atmosphäre*
- *Gebirgswärme*
- *Selbstverdichtung der Wetter*
- *Oxidationswärme*
- *Feuchtigkeitsgehalte der Wetter*
- *Kondensationswärme und Verdunstungskälte*
- *Wettergeschwindigkeiten und Wettermengen*

- *Zuströmendes Gas*
- *Wasserzuflüsse*
- *Wärme aus Förderung und Haufwerk*
- *Mechanisierung*

*Wesentliche Arbeiten und Untersuchungen wurden auf den tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers geleistet, vor allem in der Zeit nach dem ersten Weltkrieg, als diese Bergwerke entwickelt wurden und für die das Lösen der Klimafrage von existentieller Bedeutung war.*

*Das Zusammenwirken der Klimafaktoren und deren gegenseitige Beeinflussung wurde in den 1920er Jahren durch grundlegende Untersuchungen auf der Zeche Sachsen erkannt.*

*Zunächst war das Hauptaugenmerk darauf gerichtet, die Grenzen der Trockentemperatur nicht zu überschreiten, um Schichtzeitverkürzungen zu vermeiden. Das erste Mittel war die Nutzung der Verdunstungskälte, die aus der Berieselung des Kohlenstaubs, zur Vermeidung von Explosionen, bekannt war.*

*Daraus entstanden jedoch so hohe Feuchtigkeitswerte, dass die Verhältnisse für die Bergleute unerträglich waren.*

*Die geringe Produktivität, und nicht die Sorge um die Gesundheit der Bergleute, war im Wesentlichen das Motiv für die Beschäftigung mit der Klimafrage.*

*Eine weitere Voraussetzung, Bergbau unter Klimabelastung zu ermöglichen, war die Kenntnis über die Auswirkungen des Grubenklimas auf den Menschen. Dazu wird zunächst auf neuere Grundlagen der Thermoregulation des menschlichen Körpers eingegangen.*

*Die Kenntnisse zur Belastung des Bergmannes durch das Grubenklima sind seit dem 19. Jahrhundert gewachsen; Regionen, in denen wegen der Klimaherausforderungen die Entwicklung besonders intensiv betrieben wurde, waren neben anderen die tiefen, warmen Gruben im östlichen Ruhrrevier und die tiefen Goldbergwerke Südafrikas.*

*Dazu zählte auch die Festlegung von Kennmaßen, mit denen die Belastungsgrenzen bergmännischer Arbeit festgelegt werden können. Für den deutschen Bergbau mündet die Entwicklung – beginnend mit der Einführung einer Temperaturgrenze für die Schichtzeitverkürzung – über verschiedene Zwischenschritte in der aktuellen Klima-Bergverordnung.*

*Es wurden Strategien entwickelt, wie die Bergleute an die Klimabelastung gewöhnt werden sollen, die im deutschen Steinkohlenbergbau eine Eingewöhnungszeit an warmen Betriebspunkten und in Südafrika eine standardisierte Akklimatisierung in Klimakammern und das Tragen von Kühlwesten während der Einarbeitungszeit festlegen.*

*Zur Beurteilung des Grubenklimas war die Entwicklung von Klimamaßstäben erforderlich.*

*Dabei wurde in den 1920er Jahren die Wirkung von Trockentemperatur, Feuchtigkeit und Wettergeschwindigkeit als maßgeblich für die Klimabelastung erkannt.*

*Klimamessgeräte sollen in der Lage sein, mit ihren Messwerten das Grubenklima so zu erfassen und zu beschreiben, dass ein Klimamaßstab daraus entwickelt werden kann.*

*Bereits seit 1916 wurde das Katathermometer verwendet, das heute weltweit noch eine große Bedeutung für die Beschreibung des Grubenklimas hat. In den 1920er Jahren schuf Yaglou die Grundlagen für die Effektivtemperatur, die bis heute im deutschen Steinkohlenbergbau eine wichtige Größe bei der Beschreibung des Grubenklimas und der Festlegung der Beschäftigungsgrenzen hat.*

*Dabei wird das Aspirationspsychrometer auch aktuell als Messgerät für die Ermittlung von Trocken- und Feuchttemperatur verwendet, die zusammen mit der Wettergeschwindigkeit die Grundlage für die in der aktuellen Klima-Bergverordnung verwendeten Parameter Trocken- und Effektivtemperatur bilden.*

*Die naheliegendste Möglichkeit der Klimabeeinflussung war die Verwendung von Eis. Bereits im 19. Jahrhundert wurde in Bergwerken nahe junger Vulkane den Bergleuten Eis zur Abkühlung zur Verfügung gestellt.*

*Später erlangte Eis als Kälteträger dort Bedeutung, wo wegen großer Teufen und geringer Querschnitte gegenüber Wasser geringere Mengen an Eis, wegen der enthaltenen latenten Wärme, transportiert werden sollen.*

*Während im Ruhrrevier nur in einigen Fällen Eis als Kälteträger verwendet wurde, wird dieses Verfahren in Südafrika auch aktuell genutzt.*

*Eine wichtige Rolle spielt Eis bei der Individualkühlung mit Kühlwesten.*

*Die Klimabeeinflussung durch Kälteanlagen wurde Anfang des 20. Jahrhunderts im Ruhrbergbau erstmals diskutiert.*

*Die erste Kälteanlage weltweit zur Wetterkühlung wurde 1920 auf der brasilianischen Goldgrube Morro Velho eingesetzt, in erster Linie um eine Trocknung der Wetter mit entsprechender Erhöhung der Kühlstärke zu erreichen.*

*Im Ruhrbergbau wurde erstmals 1924 auf dem Bergwerk Radbod, nach voran gegangenen Versuchen mit Fluss- und Spritzwasser, eine Kälteanlage zur Wetterkühlung eingesetzt.*

*Die Anlage lief erfolgreich und diente als Brückentechnologie bis die Grubenweite so vergrößert worden war, dass durch die größeren Wettermengen und –geschwindigkeiten die Klimaverhältnisse erträglich gestaltet werden konnten.*

*Viele grundlegende Erkenntnisse für den Einsatz von Klimatisierung wurden auf der Zeche Radbod erarbeitet.*

*Eine alternative Kühlstrategie war schon früh die Sprühkühlung.*

*Der Effekt der Absenkung der Trockentemperaturen bei Verdunstung von Wasser war der Ausgangspunkt für die Überlegungen.*

*Untersuchungen auf den tiefen Gruben zeigten, dass die Wasserverdunstung der Erwärmung der Wetter auf ihrem Weg durch die Grube entgegenwirkte. In frühen Jahren wurden systematisch Nebeldüsen eingesetzt, um die Grenzen der Trockentemperatur nach ABG einhalten zu können; als Folge konnte dadurch zwar eine Schichtzeitverkürzung vermieden werden, die Verhältnisse wurden wegen der hohen relativen Luftfeuchtigkeit unerträglich, so dass die Produktivität stark fiel.*

*In Deutschland, vor allem in den ohnehin schon nassen Gruben, wurde deshalb zunächst der Einsatz der Sprühkühlung nicht weiter verfolgt.*

*In anderen Ländern, vor allem auch in südafrikanischen Goldbergwerken, wurde die Sprühkühlung weiter verfolgt; dabei wurde der Effekt genutzt, dass durch die sinkenden Temperaturen die Wetter entfeuchtet wurden. Bei der Wiedererwärmung der Wetter auf ihrem Weg durch die Grube sank die relative Feuchte entsprechend ab, und die Kühlstärke der Wetter nahm zu. Die Sprühkühlung ist in vielen Ländern bis heute im Einsatz, im deutschen Steinkohlenbergbau beschränkte sie sich auf einzelne Einsätze.*

*Die Kühlung mit Betriebswasser (chilled water und Hydropower) wird in den tiefen Gruben Südafrikas erfolgreich angewendet. Es wird dargelegt, warum diese Verfahren auf den deutschen Steinkohlenbergbau wegen der unterschiedlichen Feuchtigkeitsbelastung der Wetter und wegen der geringeren Menge an verwendetem Betriebswasser nicht zu übertragen sind.*

*Im deutschen Steinkohlenbergbau wird die komprimierte Druckluft gekühlt mit gleichzeitiger Lufttrocknung. Unter Leistung von Arbeit kommt es dann zu einem Kühleffekt, der unter Tage gezielt genutzt wird. Es werden Verfahren und Maschinen beschrieben, mit denen der Kühleffekt erzielt werden kann.*

*Eine besondere Rolle im deutschen Steinkohlenbergbau spielen die Maßnahmen zur Klimabeherrschung, die häufig darauf abzielen, einen Wärmezufluss in die Wetter gar nicht erst entstehen zu lassen, was häufig aus Wirtschaftlichkeitsgründen sinnvoller und auch wirksamer ist als die aufwändige und teure Klimatisierung; unter anderem durch den systematischen Aufbau und die Nutzung von Kältemänteln, kontrolliertes Abführen warmen Gebirgswassers und einen unter Klimagesichtspunkten optimierten Grubenzuschnitts.*

*Es wird unter anderem auf folgende Maßnahmen zur Klimabeherrschung eingegangen:*

- Erhöhung der Wettermengen*
- Geeigneter Grubenzuschnitt und Querschnitte*
- Abwärtsbewetterung*
- Stapelbau auf der Zeche Westfalen*

- *Schnelles Einbringen eines dichten Versatzes*

*Die Begrenzung des Wärmezufusses war seit dem 19. Jahrhundert von großer Bedeutung. Bei der Auffahrung der Alpentunnel um diese Zeit wurden die Zusammenhänge zwischen dem Wärmezufuss aus dem Gebirge in die Wetter und der Auskühlung des Gebirges um den Tunnel erstmals systematisch untersucht.*

*Das Phänomen des Wärmeausgleichsmantels oder Kältemantels und dessen Nutzung wurde seit den 1920er Jahren auf den tiefen, warmen Gruben des östlichen Ruhrreviers erkannt und für die Beherrschung des Grubenklimas genutzt.*

*Eine andere Strategie war die Isolierung der Grubenbaue, um den Wärmezufuss aus dem Gebirge zu verhindern. Diese Maßnahmen waren vor allem in kurzlebigen Grubenbauen sinnvoll, in langlebigen Grubenbauen wurde durch die Isolierung der Aufbau eines Kältemantels verhindert. Für die Isolierung wurden Verfahren entwickelt, die im Betrieb durchaus sinnvoll eingesetzt wurden.*

*Der Vermeidung von Wärmeübergang dient die Isolierung von Lutten und Rohrleitungen, ebenso die kontrollierte Abführung warmen Gebirgswassers. Große Wärmemengen werden aus dem Haufwerk frei; durch Gleichstromförderung kann eine Klimabelastung verringert werden. Das Gleiche gilt für die Wärme, die durch Oxidation von Kohle, Holz und in besonderem Maße Pyrit, bei innigem Kontakt mit dem Luftsauerstoff, entsteht.*

*Da die Feuchtigkeit der Wetter einen besonderen Einfluss auf das Grubenklima ausübt, weil die Möglichkeit der Kühlung durch Schweißverdunstung davon abhängt, wurden Verfahren zur Wettertrocknung entwickelt, die zu höheren Kühlstärken der Wetter führten.*

*Ein besonderes Verfahren bestand aus einer Kombination von Wettertrocknung mit nachgeschalteter Sprühkühlung, die wegen der geringen Feuchtigkeitsgehalte sehr wirksam war.*

*Es wurden Verfahren entwickelt, mit denen die natürlichen Möglichkeiten in der oberen Erdkruste zur Kühlhaltung der Wetter genutzt werden konnten. Dazu wurden in der neutralen Zone, in der die mittlere Jahrestemperatur von im Ruhrrevier etwa 9°C herrscht, Kühlstrecken aufgefahren, durch die die Frischwetter im Sommer gesaugt wurden, die sich dabei abkühlten. Es zeigte sich, dass die Verfahren vom Grundsatz her zwar funktionierten, der Kältevorrat um die Kühlstrecken jedoch sehr schnell verbraucht war. Überlegungen wurden angestellt, die Lage des Schachtansatzpunktes unter klimatischen Gesichtspunkten zu optimieren, indem er z.B. in schattiges Gelände verlegt wurde, um möglichst geringe Ansaugtemperaturen zu haben.*

*Die Maßnahmen zur Klimabeherrschung waren zunächst in der Regel empirisch gefunden worden.*

*In der Arbeit werden die empirisch gewonnenen Erkenntnisse mit später entwickelten theoretischen Grundlagen betrachtet.*

*Daraus lässt sich unter anderem auch ableiten, warum einige der entwickelten Maßnahmen erfolgreich waren und andere nicht.*

*Dabei waren die Maßnahmen günstig, die die Erhöhung der Klimawerte so begrenzen, dass die Enthalpiedifferenz in den Wettern möglichst gering ist, bei Kühlungsmaßnahmen soll sie möglichst groß sein, aber in entgegengesetzte Richtung.*

*Die durch Konvektion, als wichtigste Größe der Wärmeübertragung, übertragene Wärmemenge ist proportional zur Temperaturdifferenz zwischen den Wettern und der Übertragungsfläche und zur Größe der Übertragungsfläche.*

*In der Entwicklung der Grubenklimatisierung wurde die Frage der zentralen oder dezentralen Kühlung und die Frage des Standortes der Kälteerzeugung über Jahrzehnte diskutiert.*

*Die Arbeit geht auf die Diskussion ein und stellt deren Ergebnis mit großen zentralen Kälteerzeugungsanlagen über Tage, Mehrkammer-Rohraufgebern und dezentralen Wetterkühlern unter Tage dar.*

*Bei kleineren Anlagen kann eine Kälteerzeugung unter Tage sinnvoll sein.*

*Es werden in der Arbeit einige Prozesse zur Einführung und Verbreitung der Klimabeherrschung detailliert dargestellt:*

- *Kühlung mit Eis*
- *Kältetechnik mit Oberflächenkühlern*
- *Sprühkühlung*
- *Kühlung auf natürlichem Wege*

*Wo möglich, werden die Gründe für die Veränderungen in den Prozessen oder für deren Ende aufgeführt.*

*Es wird auf die Individualkühlung in Form von Kühlkleidung eingegangen, für die Erfahrungen im Betrieb und für die systematische Akklimatisierung vorliegen. Die Technik kann für die Zukunft bei weiter zunehmenden Klimabelastungen und menschenärmeren Bergwerken weiter an Bedeutung gewinnen.*

*Um den Wasser- und Elektrolytverlust an heißen Arbeitsplätzen auszugleichen, wurden schon früh Hitzeschutzgetränke mit Salzzugaben entwickelt.*

*Auch basierend auf den Ergebnissen der Dissertation werden Anregungen für die Zukunft gegeben, die von der Entwicklung der Lagerstätten und der Technologie und den Anforderungen an den Arbeitsschutz und die Ergonomie ausgehen.*

*Die Anregungen beziehen sich auf Maßnahmen zur Begrenzung des Wärmezufusses, auf spezielle Kühlmaßnahmen und die Ausweitung der Individualkühlung.*

*Es wird angeregt, Erkenntnisse aus anderen Bereichen der Wissenschaft, z.B. der Sportmedizin, zu berücksichtigen und eine höhere Flexibilität der genutzten Maßnahmen zu ermöglichen.*

## 12. Ausblick

*Die mittlere Gewinnungsteufe im deutschen Steinkohlenbergbau beträgt mehr als 1.000 m, mit maximal etwa 1.500 m (1).*

*Für die nächsten Jahre ist im Ruhrbergbau mit einer weiteren Entwicklung zur Teufe hin und weiterhin zunehmender Betriebspunktkonzentration auf 7.500 t<sub>v</sub>/d und Abbaubetrieben mit Streblängen von 450 bis 500 m zu rechnen (1).*

*Beim Fortschreiten des Bergbaus in die Teufe, dessen Ausmaß für den Steinkohlenbergbau im Ruhrrevier vor dem Hintergrund der kohlepolitischen Beschlüsse nicht endgültig quantifiziert werden kann, ist mit der weiteren Zunahme der Klimabelastungen zu rechnen.*

*Die Klimatisierung stößt dann möglicherweise an Grenzen, die, abhängig von der Entwicklung des Energiepreinsniveaus, auch wirtschaftlicher Art sein können.*

Nach Martens (2) wird der Trend zu menschenarmen Bergwerken weiter zunehmen; dabei stellt sich nicht mehr die Frage, ob personenlose Bergwerke kommen werden, sondern nur noch, wann das der Fall sein wird.

Mit zunehmender Teufe nimmt nach Wagner (3) die Kühlkapazität stark überproportional zu, die erforderlich ist, um die Arbeitsbedingungen erträglich zu halten.

Daraus folgt, dass mit zunehmender Teufe die Begrenzung des Wärmezufusses wichtiger und sinnvoller wird als die Erhöhung der Kühlkapazität (3).

*Ein wesentlicher Einfluss auf das Grubenklima ergibt sich durch die Zunahme der Abbaugeschwindigkeiten und Fördermengen.*

*Unter Punkt 3.10 wurde bereits auf die Auswirkungen erhöhter Fördermengen auf das Grubenklima beispielhaft eingegangen.*

*Zusätzlich zu der Abgabe von Wärme und Feuchtigkeit aus dem Haufwerk spielt auch die Oxidation der Kohle als exothermer Prozess eine Rolle.*

*Unter Punkt 3.4 wurde bereits auf die Wettererwärmung durch Oxidation eingegangen. Untersuchungen in den 1920er Jahren hatten zum Ergebnis, dass die Wettertemperaturen durch die Oxidation deutlich zunehmen können. Jansen beziffert die Wettererwärmung auf der Zeche Sachsen durch Oxidation auf fast 12°C, davon 4,1°C im Einziehweg.*

*Nach Jansen kann die Erwärmung durch Oxidation im Einziehweg zur Gänze vermieden werden, wenn die Bewetterung fallend und die Förderung im Gleichstromverfahren erfolgt.*

*Entscheidend für die Oxidation der Kohle, und die daraus resultierende Klimaverschlechterung, ist nicht nur die Fördermenge, sondern auch der Kontakt der Kohle mit dem Luftsauerstoff.*

*Auch Voß (4) geht auf den Einfluss der Oxidation ein. Während danach in einigen Quellen der Einfluss der Oxidation als nicht sehr groß angesehen wird, wurden im Abbau vereinzelt ungewöhnlich hohe Wärmeaufnahmen*

*durch Oxidation gemessen, die möglicherweise auf die Oxidation von Pyrit zurückzuführen sind, das im Flöz und Nebengestein vorhanden war (4). Die Frage der Wärmeentwicklung durch die Oxidation der Kohle, des Pyrits und des Holzes sollte einer eingehenderen Untersuchung unterzogen werden. Die Begrenzung der Oxidation durch die Vermeidung des Kontaktes mit Luftsauerstoff kann durch die Wahl geeigneter Verfahren der Abförderung, denkbar wäre z.B. auch ein hydromechanisches Verfahren, erfolgen. Auch bei Wagenförderung ist die Kontaktfläche des Haufwerks zum Luftsauerstoff relativ geringer als bei Bandförderung.*

Im Streb kommt es bei Gegenstromförderung gegenüber Gleichstromförderung zu einer Temperaturerhöhung um bis zu 10°C.

*Die Gleichstromförderung – gleichzusetzen mit Abwärtsbewetterung – ist heute unter anderem wegen des geringen Einfallens der gebauten Bauhöhen möglich, siehe § 146 der BVOSt von 1970 (5) und § 33 der BVOSt von 2001 (6).*

*Für die Zukunft ist zu erwarten, dass Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz und die Gestaltung eines ergonomischen Arbeitsumfeldes weiter an Bedeutung zunehmen werden (2).*

*Das gilt neben der Verringerung von Staub, Lärm usw. auch für die Klimabelastung.*

*Aus der Lagerstätten- und Technologieentwicklung und der Forderung nach geringeren Klimabelastungen für die Bergleute ergeben sich Anforderungen und Anregungen, auch basierend auf den Untersuchungen der Dissertation, wie die Klimafrage in Zukunft beherrscht werden kann.*

*Die Möglichkeiten und Maßnahmen lassen sich wie folgt zusammen fassen:*

### *1. Begrenzung des Wärmezufusses*

*Wie oben bereits angesprochen, siehe auch Wagner (3) und das Rechenbeispiel unter **Punkt 3.10**, bekommt die Verhinderung bzw. Begrenzung des Wärmezufusses mit zunehmender Teufe eine entscheidende Bedeutung.*

*Dazu können klassische Maßnahmen wie die Einbringung eines möglichst dichten Versatzes gehören oder die Abschottung abgeworfener Bereiche des Grubengebäudes und des Alten Mannes gegen Wärmeübertritt.*

*Die Begrenzung der Größe des Grubengebäudes auf das erforderliche Maß wirkt sich auch unter klimatischen Gesichtspunkten positiv aus.*

*Große Wärmemengen treten im Streb in die Wetter ein; der Aufbau eines Kältemantels ist wegen der Dynamik der Abbaubetriebe nicht möglich. Hier wäre die künstliche Erzeugung eines Quasikältemantels vorstellbar, zum Beispiel durch die Vorkühlung des Tränkwassers, das ohnehin als Instrument der Staubbekämpfung erforderlich ist. Da die Wärmeübertragung durch Konvektion unter anderem proportional zum Temperaturunterschied zwischen den Wetterern und der Temperatur an der Übertragungsfläche – in diesem Fall*



*dem Kohlenstoß – ist, käme es zu einem geringeren Wärmeübertritt in die Wetter im Streb.*

*Analog zu einer Vorentgasung der Flöze sollte die Vorentwärmung von Bauflächen vor dem eigentlichen Abbau überlegt werden, siehe auch **Punkt 10**.*

*Lässt sich der Wärmezufuhr nicht vermeiden, ist es wichtig, die Wärme auf schnellstem Wege – und mit möglichst geringer Erwärmung der Wetter – aus der Grube heraus zu bringen.*

*Grundsätzlich bedeuten höhere Fördermengen auch größere Wärmemengen, wie bereits unter anderem unter **Punkt 3.10** beschrieben.*

*In Hochleistungsstreben ist deshalb die Gleichstrombewetterung sinnvoll.*

*Unter dem Aspekt des CH<sub>4</sub>-Anfalls sollten elektrische Anlagen und Antriebe so weit wie möglich in die Kopfstrecke verlegt werden.*

*Die Alternative ist der Standort für diese Anlagen in der Bandstrecke, wenn dort als Y-Bewetterung eine Wetterauffrischung durch einen zusätzlichen Einziehstrom erfolgt.*

*Die klimatischen Vorteile der Gleichstrombewetterung sind im wesentlichen:*

- *Weniger Staubanfall an den in der Kopfstrecke aufgestellten Kühlern*
- *Weniger Wärme aus dem Fördergut*
- *Weniger Staub und damit weniger Oxidationswärme.*

*Maßnahmen zur Isolierung gegen den Wärmeübertritt in die Wetter wurden bereits mehrfach angesprochen, auch unter dem Aspekt der Ausbildung eines Kältemantels um die bergmännischen Hohlräume, der in einer isolierten Strecke langsamer erfolgt.*

*Unter dem besonderen Einfluss steigender Fördermengen ergeben sich größere Wärmemengen, mit denen die Wetter belastet werden.*

*Die Isolierung der Stetigförderer, zum Beispiel durch eine kastenförmige Hülle, kann einen beträchtlichen Teil des Wärmeübergangs in die Wetter vermeiden. Es ist dann auch ein weniger intensiver Kontakt mit vorbeistreichenden Wetter zu erwarten, so dass die Oxidation als exothermer Prozess eine geringere Rolle spielen wird.*

*Zu beachten ist hierbei die Entwicklung der CH<sub>4</sub>-Gehalte im Bereich der Stetigförderer, wenn das freiwerdende Methan durch die Wetter nur eingeschränkt verdünnt werden kann.*

*Grundsätzlich gilt, dass die Querschnitte der Grubenbaue unter Klimagesichtspunkten möglichst klein gehalten werden sollen.*

*Die Forderung widerspricht häufig den anderen Aufgaben der Grubenbaue wie Förderung, Transport usw.*

*Ein besonderes Augenmerk ist auf die Wetterführung mit der ausreichenden Verdünnung des anfallenden CH<sub>4</sub> zu legen.*

*Eine bedeutende Rolle spielt die Ausdehnung der Heizfläche im Streb. Je größer der Querschnitt des Abbauhohlraums ist, und damit auch die Oberfläche, um so stärker können sich die Wetter erwärmen. Deshalb galt grundsätzlich, die Heizfläche unter klimatischen Gesichtspunkten möglichst klein zu halten.*

*Hier ist eine Gesamtbetrachtung erforderlich, die auch die Frage eines höheren Wetterwiderstandes durch verringerte Abbauquerschnitte beinhaltet.*

*War die Schaffung geringer Abbauquerschnitte durch dichten und frühzeitigen Versatz früher sehr erfolgreich, ist diese Methode heute bei den hohen Abbaugeschwindigkeiten nicht mehr möglich.*

*Allerdings wird heute der Strebraum durch die Schiltsäule klein gehalten. Zusätzlich wäre eine Wärmeisolierung der Schilde zum Alten Mann hin denkbar, um dem Wärmezuffluss zu begrenzen.*

## *2. Spezielle Kühlmaßnahmen*

*Der geschilderte Effekt der Wärmeisolierung durch die Schilde könnte noch dadurch verstärkt werden, dass die Schilde mit gekühlten Betriebsflüssigkeiten, die wie die Hydraulikflüssigkeit ohnehin für den Betriebsablauf erforderlich sind, durchströmt werden, die strebseitig über Wärmetauscher Wärme aus den Wettern aufnehmen könnten.*

*Zusätzlich wäre es denkbar, im Streb ohnehin vorhandene Einbauten als Wärmetauscher zu nutzen. Denkbar wären die Anbauten der Strebförderer. Damit entfielen auch die zusätzliche Verengung des häufig geringen Querschnitts des Fahrwegs im Streb.*

*Analog zu der Kühlung mit dem Betriebswasser in Südafrika – „chilled water“ – wäre auch im deutschen Steinkohlenbergbau eine Kühlung des Betriebswassers denkbar, das ohnehin in die Wetter gelangt. Dazu gehört zum Beispiel das Bedüsungswasser im Streb und an Übergabestellen zur Staubbekämpfung oder das Wasser beim nassen Bohren. Die Wetter werden nicht stärker mit Feuchtigkeit belastet als ohne den Kühleffekt.*

## *3. Individualkühlung*

*Die weiter zunehmende Mechanisierung und Automatisierung der Bergwerke führt dazu, dass sich immer weniger Bergleute unter Tage an hitzebelasteten Arbeitsplätzen aufhalten.*

*Daraus leitet sich die Frage ab, ob es sinnvoll ist, eine energieaufwändige und damit teure Gesamtkühlung der Grube, oder großer Bereiche davon, vorzunehmen.*

*Eine alternative Strategie könnte sein, die Klimaverhältnisse für die Bergleute dadurch erträglich zu halten, dass eine individuelle Kühlung der Arbeitsplätze*

*(Fahrerkabinen, Steuerstände usw.) erfolgt oder eine individuelle Kühlung der Bergleute, zum Beispiel bei Arbeiten zur Wartung oder Instandhaltung.*

*Das gilt auch für einzelne Arbeitsplätze in Abwetterbereichen. Als Kühlmedium könnte dabei Eis eine wichtige Rolle spielen, sowohl als Kälte Träger für die räumlich begrenzte Kleinstkühlung von Arbeitsplätzen als auch zur Individualkühlung mit Kühlwesten.*

*Dabei ist zu beachten, dass die Bergleute dann entsprechend geschützt werden, wenn die Systeme zur Individualkühlung ausfallen. Die Bergleute haben je nach Klimabedingungen auch nach Ausfall der Systeme einen gewissen Aktionsradius, innerhalb dessen dann z.B. Fluchtkammern geschaffen werden müssen, in denen die Bedingungen so sind, dass die Leute darin bis zur Rettung warten können.*

*Nach dem Übergang von der Gesamtkühlung zur Kleinst- bzw. Individualkühlung taucht dann allerdings die Frage nach neuen Klimagrenzen auf, die nicht mehr durch die Erträglichkeitsgrenze für den Menschen, sondern durch die Temperaturgrenzen bestimmt werden, bis zu denen die eingesetzten Maschinen sicher und wirtschaftlich betrieben werden können.*

#### *4. Nutzung von Erkenntnissen aus anderen Bereichen der Wissenschaft und Flexibilität der Maßnahmen*

*Für die zukünftige Gestaltung der Arbeitsplätze und die Erfordernisse des Arbeitsschutzes sind auch Erkenntnisse zu nutzen, die in anderen Wissenschaftsbereichen erarbeitet wurden. Als Beispiel seien die Erkenntnisse der modernen Sportmedizin genannt.*

*Der Geldwert der Arbeitskraft hat sich im Laufe der Zeit erhöht. Frühere Verfahren zur Klimabeherrschung waren häufig sehr personalintensiv und sind, obwohl sie durchaus wirksam waren, heute nicht mehr wirtschaftlich anzuwenden.*

*Die Anwendung der Maßnahmen, auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Bergwerke, muss mit einer gewissen Flexibilität erfolgen können. Dazu zählt auch die permanente Überprüfung des gesetzlichen Rahmens.*

*Die Frage der Beherrschung des Klimas bei zunehmenden Teufen wird auch eine Aufgabe zukünftiger Generationen von Bergingenieuren sein.*

#### **Literatur:**

**(1)** Tönjes, B.: Bergwerk 2012 – Hightech für die Zukunft, Glückauf 2003, S. 663 - 671

**(2)** Martens, P.N.: Entwicklungen im untertägigen Bergbau, BHM 2005, S. 132 - 138

- (3) Wagner, H.: The challenge of deep-level mining in South Africa, Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy, vol. 86, no. 9, Sept. 1986, Seiten 377 - 392
- (4) Voß, J.: Grubenklimate, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1981, S. 52
- (5) Bergverordnung des Landes Nordrhein-Westfalen für die Steinkohlenbergwerke (BVOST) vom 20. Februar 1970
- (6) Bergverordnung der Steinkohlenbergwerke (BVOST) vom 10. Januar 2000 in der Fassung vom 1.5.2001