

Erfahrungen beim Abbau in grosser Teufe eines Salzstockes

Horst Röver

*Kali und Salz AG Werk Niedersachsen—Riedel
D-3101 Wathlingen, Kr. Celle*

ZUSAMMENFASSUNG

Unsere bisherigen Erfahrungen beim Abbau in großen Teufenbereichen eines Salzstockes haben die zunehmende Bedeutung von Gebirgsdruck und Gebirgswärme für die Abbauführung bestätigt.

Es werden Wege aufgezeigt, um den Auswirkungen des Gebirgsdruckes beim Vordringen bis zu einer 1400 m Sohle zu begegnen, wobei u. a. ein neuartiges Radialbohrverfahren vorgestellt wird. Zur Verbesserung des Grubenklimas werden gezielte Grosswettermassnahmen durchgeführt.

Zur Verringerung der physiologischen Beanspruchung unserer Bergleute in hohen Temperaturbereichen wurden Arbeitsplatzverbesserungen durch Isolierung der Fahrerstände von Großblademaschinen und durch Installation von Klimakabinen auf Dieselfahrzeugen erfolgreich erprobt und eingeführt.

Die ersten Versuchsergebnisse auf dem Wege zu einer effektiven Mannkühlung lassen erkennen, daß diese Methodik systematisch weiter erforscht werden muß, um grubenklimatische Voraussetzungen zu schaffen, welche für ein weiteres Vordringen in große Teufenbereiche erforderlich sind.

KALI UND STEINSALZWERK NIEDERSACHSEN—RIEDEL

Das Kali- und Steinsalzwerk Niedersachsen-Riedel der Kali und Salz AG, Kassel, baut auf dem 32 km² großen Salzstock Wathlingen-Hänigsen, 30 km nordöstlich von Hannover in der Bundesrepublik Deutschland gelegen. Der Grubenbetrieb ist in zwei Baufelder unterteilt: Niedersachsen und Riedel. Seit Anfang dieses Jahres werden Kali- und Steinsalze ausschließlich aus dem südlichen Riedelfeld im konzentrierten Einfeldbetrieb gewonnen.

Auf dem schmalen Salzstock ist die jährliche mittlere Teufenzunahme mit 35 m verhältnismäßig hoch. Die Ausrichtungsarbeiten haben eine Teufe von 1225 m erreicht. Auf Grund dieser Teufenlage hat sich die Betriebsführung des Werkes seit Jahren mit den Problemen erhöhten Gebirgsdruckes und zunehmender Gebirgswärme zu befassen.

Über die Erfahrungen beim Abbau in großer Teufe eines Salzstockes soll berichtet werden.

BETRIEBLICHE MASSNAHMEN ZUR BEHERRSCHUNG DES ERHÖHTEN GEBIRGSDRUCKES IN GROSSEN TEUFEN

Die Auswirkungen eines erhöhten Gebirgsdruckes in großen Teufenlagen werden aus der Sicht betrieblicher, empirischer Erkenntnisse bei Arbeiten in der Aus- und Vorrückung und der Gewinnung, vorwiegend unterhalb der 1000 m-Grenze in der Kaliabteilung aufgezeigt.

Seit 1972 werden auf Niedersachsen-Riedel bergmännische Arbeiten im Bereich 1000/1200 m durchgeführt. Die Aufschlußarbeiten erfolgen durch das Auffahren geneigter Wendel- und Bandstrecken im Liegenden des steil einfallenden Lagers. In 20 m-Teufenabschnitten werden

Querschläge zum Lager gefahren. Die Abbauvorbereitung erfolgt durch das Auffahren von streichenden Einbruchstrecken.

ABBAUVERFAHREN/DIMENSIONIERUNG DER AUS- UND VORRICHTUNGSSTRECKEN UND ABBAUHÖHEN

Das Abbauverfahren ist ein streichender Kleinrichterbau mit strossenartigem Verhieb (Fig. 1). Die Lagermächtigkeiten schwanken zwischen 1 m und 30 m bei einer mittleren Mächtigkeit im Riedelfeld von ca. 8 m. Die Einzel-Abbaulängen betragen 100–120 m bei Pfeilerstärken von 10–12 m und unterschiedlichen Bauhöhen von 90 bis 240 m. Die Verfüllung der Abbauhohlräume durch Versatzgut ist vorgeschrieben.

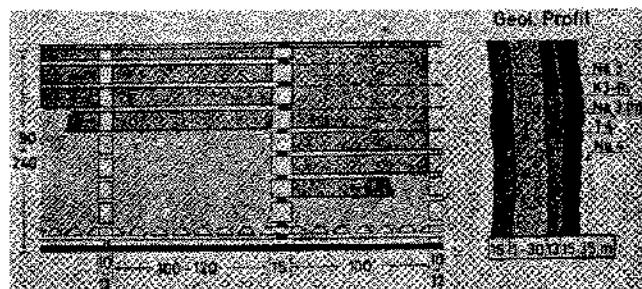
Die Dimensionierung der Aus- und Vorrichtungstrecken sowie der Abbauhöhen in Abhängigkeit von der Teufenlage wurden so gewählt, daß Löserunfälle, größere Streckenunterhaltungsarbeiten und Schalenbildungen in Abbauen weitgehend vermieden werden können. Die Abbildung 2 zeigt die Reduzierung der Abbauhöhen zur Teufe hin. Max. Abbauhöhen von 240 m in geringer Teufe werden systematisch mit der Teufenzunahme verkleinert und betragen nur noch 90 m im Bereich 1310–1400 m. Durch diese Maßnahmen werden bei sonst unveränderter Abbau-technik die Verhiebszeiten je Abbau wesentlich verkürzt. Des weiteren werden die Abstände der Band- und Wendelstrecken zum Abbau hin bei zunehmender Teufenlage vergrößert.

Bei großen Lagermächtigkeiten über 15 m können unterhalb der 1000 m-Sohle die Einbruchstrecken nicht mehr auf volle Lagerbreite aufgefahren werden, da sie den Druckeinwirkungen beim Abbau auf Dauer nicht standhalten. In diesem Falle werden jeweils zwei 5 m breite Strecken am Hangenden und Liegenden hergestellt. Bei Mächtigkeiten über 25 m ist eine weitere Mittelstrecke erforderlich.

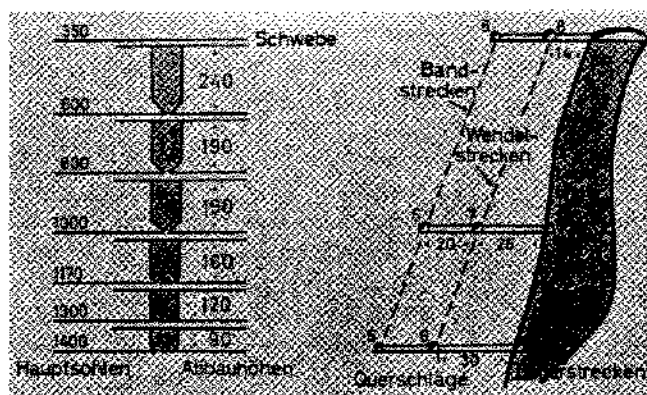
RADIALBOHRVERFAHREN

Bedingt durch diese Auffahrtechnik mußte das Bohrverfahren für den Schwebenverhieb vom Parallelbohrverfahren auf ein für den Salzbergbau neu konzipiertes Radialbohrverfahren umgestellt werden (Fig. 3). Bei diesem Verfahren werden aus den kleinquerschnittigen Einbruchstrecken die 44 mm großen Strossenbohrlöcher an den Lagergrenzen parallel und zur Lagermitte hin radial angeordnet. Die unterschiedlichen Neigungswinkel werden den Bohrhauern anhand eines Bohrplanes vorgegeben. Die Vorgaben betragen 1,2–1,5 m, die Bohrlochseitenabstände 3–4 m. Die größte Bohrlochlänge beträgt 30 m.

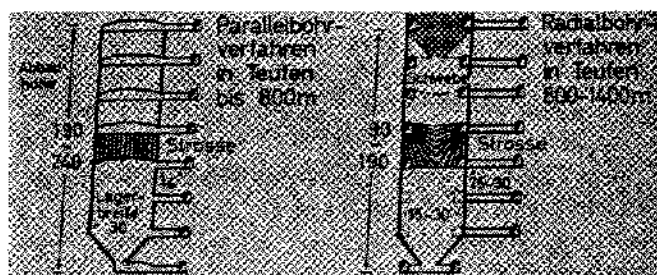
Zur Verhiebstechnik ist anzumerken, daß zuerst die hangende Teilschwebe hereingeschossen wird, danach, nachfolgend im 10 m Abstand, folgt die liegende Teil-



Figur 1. Abbauschema-Kalibetrieb. Streichender Kleinrichterbau mit strossenartigem Verhieb.



Figur 2. Abbauhöhen und Strecken in verschiedenen Teufen.



Figur 3. Strossenverhieb in unterschiedlichen Teufen.

schwebe. Dadurch wird erreicht, daß alle Bohrlöcher der zurückhängenden Schwebe durchgebohrt werden können und evtl. abbrechende Bohrlöcher der vorausschließenden Schwebenhälfte ausgeglichen werden.

Das hereingeschossene Haufwerk hat ein breites Kornspektrum. Einzelne Stücke können Ausmaße bis 4 m³ haben. Dementsprechend werden die Trichteröffnungen, die in Ladeorten enden, relativ groß bemessen, nämlich 2 m × 3 m. Die Ladeorte werden so angelegt, daß sie zur Forcierung der Abbauförderung von jeweils zwei Fahrladern gleichzeitig angefahren werden können. Größere Salzstücke werden aussortiert und nachträglich durch Schießerarbeit zerkleinert.

Für die neue Bohrtechnik wurde ein Radialstrossenbohrwagen nach unserer Vorstellung entwickelt und eingesetzt. Dieser ist gekennzeichnet durch einen ausfahrbaren Hydraulikzylinder, an dem die Bohrlafette montiert ist. Eine Gradeinteilung erleichtert die Einrichtungsarbeit des Bohrwagenbedieners (Fig. 4). Das Radialbohrverfahren hat sich gut bewährt. Dem erhöhten Vorrichtungstreckenaufwand stehen der Fortfall aufwendiger Wölbungs- und Beraubarbeiten sowie eine erhöhte Sicherheit für die Bohr- und Schießarbeiten gegenüber. Die Bohrleistung beim Schwebenverhieb mit ca. 300 Bm/Mannschicht und der Sprengstoffverbrauch von 240–280 g/t Haufwerk je nach Mächtigkeit sind in beiden Strossenbohrverfahren nahezu gleich.

Die Einzelabbaue werden grundsätzlich nacheinander von unten nach oben verhauen und unmittelbar nach Abbauende mit Versatzgut verfüllt, bevor bzw. während der Nachbarabbau in Verhieb steht. Die unter starken Druckeinwirkungen stehenden obersten Einbruchstrecken werden besonders sorgfältig gewölbt, mechanisch beraubt und teilweise auch geankert. Das erfolgt auch bei allen stationären Arbeitsplätzen im Abbaubereich. Größere Arbeitsräume, wie Werkstätten und Magazine, werden mindestens 100 m von Abbaubereichen entfernt angelegt.

TEMPERATUREINFLÜSSE IN GROSSEN TEUFENBEREICHEN

Wärmetechnisch stellen die Salzstöcke von Niedersachsen eine Art Wärmespeicher mit schlecht leitender Außenhaut dar, denn alle Hüllgesteine an den Salzstockflanken und das überlagernde Deckgebirge haben im Vergleich zum Salzgebirge nahezu isolierende Eigenschaften. Daraus resultiert, daß die aus dem Erdinneren kommenden hohen Wärmemengen im gut leitenden Salzstock mit hoher Wärmestromdichte verhältnismäßig schlecht an die Umgebungsgesteine abfließen können. Der mittlere Temperaturgradient im Salzstock Wathlingen-Hänigsen beträgt 3,0°C pro 100 m.

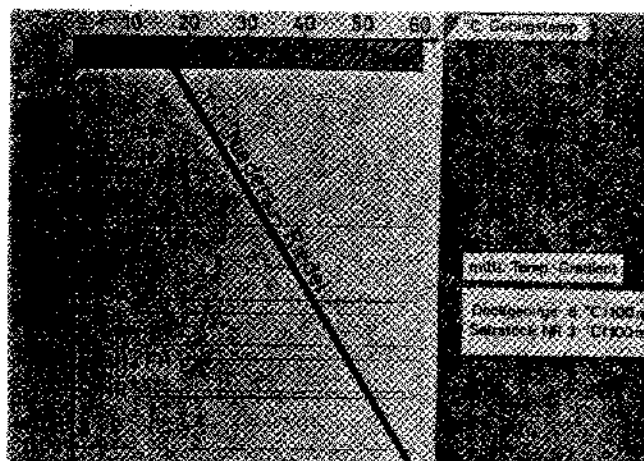
Auf Niedersachsen-Riedel beträgt die ursprüngliche Gebirgswärme im Bereich der 1200 m-Sohle bereits 50°C. In einer Teufe von 1400 m, die wir 1982 erreicht haben, erwarten wir 56°C (Fig. 5).

Für die Lebensdauer der niedersächsischen Salzwerke, deren Vorräte bis in Teufenbereiche von 3–4000 m reichen können, ist die Schaffung erträglicher Arbeitsbedingungen bei hohen Temperaturen von wesentlicher Bedeutung. *Jeder Meter Teufengewinn erhöht die Produktionszeit eines Salzbergwerkes.*

Auf Niedersachsen-Riedel werden seit Jahren Forschungsarbeiten zur Verbesserung des Grubenklimas in großen Teufenbereichen durchgeführt, über die im folgenden berichtet wird: Im wesentlichen handelt es sich um 1) Kühlmaßnahmen durch gezielte Hauptwetterführung,



Figur 4. Bohrlafettenausleger des Radialstrossenbohrwagens beim Bohren.



Figur 5. Ursprüngliche Gebirgstemperaturen. BL = Steinsalzwerk Braunschweig-Lüneburg; SA = Kaliwerk Salzdetfurth; SI = Kaliwerk Sigmundshall; SG = Kaliwerk Siegfried-Giesen; BH = Kaliwerk Bergmannsseggen-Hugo; FH = Kaliwerk Friedrichshall; NR = Kali- und Steinsalzwerk Niedersachsen-Riedel.

2) Isolierung der Fahrerstände von Großladern, um die Laderfahrer gegen Strahlungswärme zu schützen, 3) Schaffung klimatisierter Bedienungsplätze auf Dieselfahrzeugen, und 4) spezielle Mannkühlungsmaßnahmen durch Verwendung von Kühlkleidung.

HAUPTWETTERFÜHRUNG-KLIMABEREICHE

Die wirkungsvollste Kühlmaßnahme für den gesamten Grubenbetrieb ist nach wie vor die Heranführung großer Kühlwettermengen durch die Hauptwetterführung. Auf unserem Werk werden 8000 m³ Frischwetter pro Minute auf kürzestem Wege von übertage über einen Wetterscheider bis zum Fußpunkt der tiefsten Hauptsohle, der 1190 m-Sohle, geführt (Fig. 6).

Die Wetter haben im jahreszeitlichen Wechsel Temperaturen von 25–33°C, die sich entlang einer 2 km langen Hauptstrecke um weitere 2–3°C erhöhen. Diese "Kühlwetter" werden über die Sonderbewetterungsanlagen den Vorortbetriebspunkten zugeführt, wobei sie auf ihrem Wegedurch 300–500 m lange Luttentouren um ca. 4°C erwärmt werden. Die Austrittstemperaturen vor Ort betragen demnach 31–40°C; sie ermöglichen eine Abkühlung der höheren Gebirgstemperaturen um 4–6°C.

Durch diese Wetterführungsmaßnahmen werden Klimabereiche geschaffen, die im Bereich der Trockentemperaturen im Mittel bei 36°C liegen (Fig. 7), mit Maximalwerten im Bereich der 1200 m-Sohle um 46°C. Auf dem 1400 m-Niveau, also ab 1982, werden Trockentemperaturen von max. 52°C und Feuchtemperaturen von 27°C anstehen.

ISOLIERUNG VON FAHRERSTÄNDEN DER LADEMASCHINEN

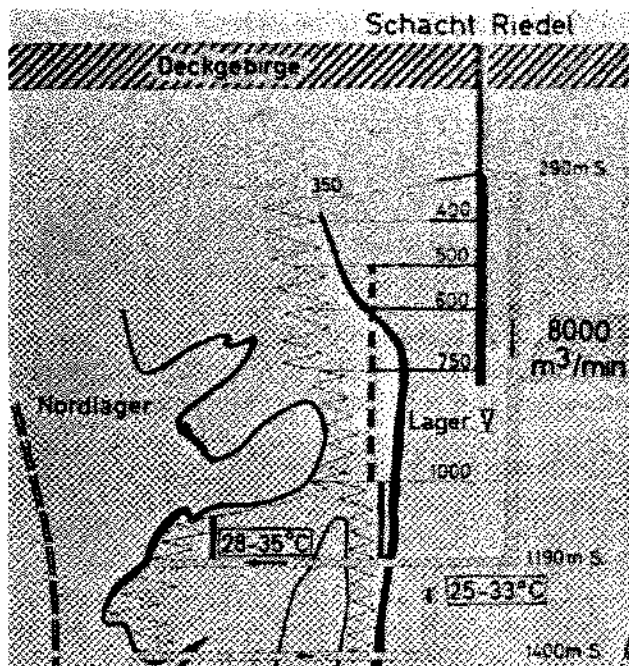
Die Arbeitsplatztemperaturen für den Laderfahrer sind besonders hoch. Sie erreichen Mittelwerte von 55°C. 1982 werden es voraussichtlich 60°C sein. Aus diesem Grunde haben wir seit 1974 verschiedene Isolierungstechniken für den Fahrerstand erprobt, um den Fahrer vor allem gegen die hohen Maschinenwärmen, die auf ihn durch Strahlung, Konvektion und Leitung einwirken, zu schützen (Fig. 8).

Als Ergebnis dieser Versuche stellen sich die Isolierungsmaterialien Styropor, Polyurethan oder Asbest als wenig geeignet heraus. Auf Grund der großen Porosität saugen sie Öle auf, die das gesamte Material feuergefährlich machen. Überdies müssen Isoliermittel in den engen Kabinen stossfest sein. Als effektivste Isoliertechnik (Fig. 9), die vor allem den hohen Strahlungsanteil vernichtet, stellte sich ein 5 cm starkes Isoliersandwich heraus, das folgenden Aufbau hat:

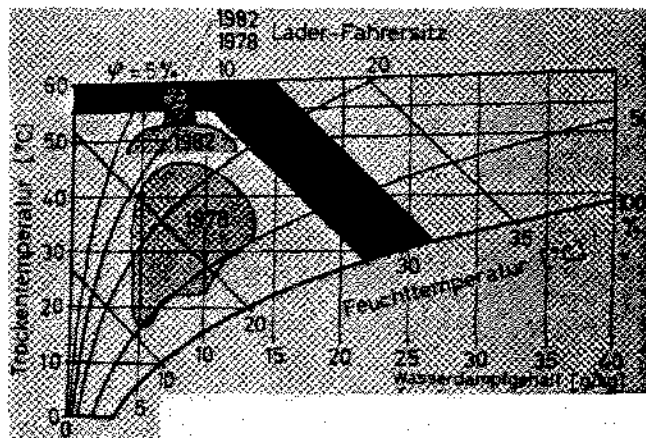
- 0,2 mm selbstklebende Coroplast-Alufolie
- 11 mm Luftspalt
- 1 mm Alublech
- 30 mm in Alufolie eingewickelte Glaswolle
- 1 mm Alublech
- 3 mm Luftspalt
- 4 mm Eternit-Glasplatte

Der Isolierungseffekt ist bei den bisher aufgetretenen Oberflächen- und Strahlungstemperaturen (Fig. 10) von max. 60°C nahezu 100 %ig, wie eine Meßreihe an verschiedensten Meßstellen um den Fahrersitz herum ausweist. Das dunkle Temperaturfeld nach der Isolierung zeigt Temperaturen um 46°C auf, die auch in der Umgebungsluft vor Ort herrschen. Somit konnten alle zusätzlichen Maschinenwärmen absorbiert werden.

Die Strahlungstemperaturen wurden mit einem Infrarot-Strahlungsthermometer PRT-10 L der Fa. Barnes Engineering Co., Stamford, USA, gemessen.



Figur 6. Hauptwetterschema in Grubenfeld Riedel.



Figur 7. Derzeitige und zukünftig zu erwartende Klimazonen an allen Arbeitsplätzen des Grubenbetriebes Niedersachsen-Riedel, spezielle Temperaturbereiche auf dem Fahrersitz von Grossladern.



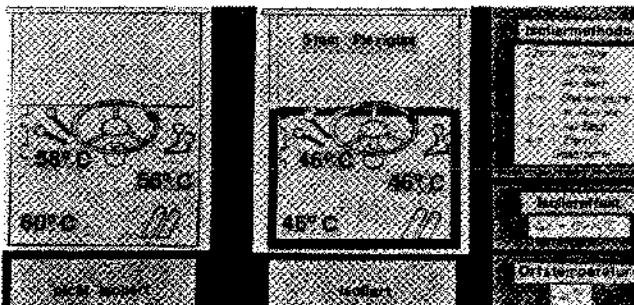
Figur 8. Isolierter Fahrerstand einer Lademaschine (Fahrersitz ausgebaut).

KÜHLANLAGEN AUF DIESELFahrZEUGEN

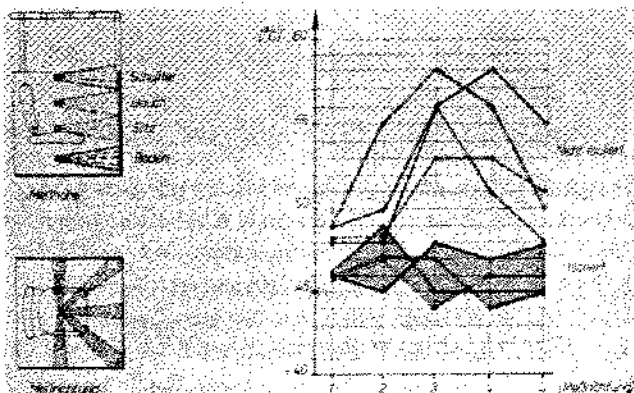
Um weitere Temperaturreduzierungen auf den Bedienungsplätzen von Dieselfahrzeugen zu erreichen, werden seit 1974 auch Versuche mit Kühlaggregaten im Fahrerstand durchgeführt. Dabei wurden drei Techniken einer Kühlluft-Klimatisierung getestet:

1. Kühlung im offenen Fahrerstand durch den Einbau von Kopfdüsen unter dem Fahrdach (Fig. 11). Dabei steht der Verdampfer unter dem Fahrersitz und die erzeugte Kühlluft wird über Isolierschläuche den Kopfdüsen zugeführt.
2. Kühlung in einer halbgeschlossenen Fahrerkabine, in der die Kühlluft unter dem Fahrersitz zugeführt wird (Fig. 12).
3. Kühlung in einer voll verschlossenen Kabine mit einem serienmäßigen Fahrzeug-Kühlgerät im Umluftverfahren (Fig. 13).

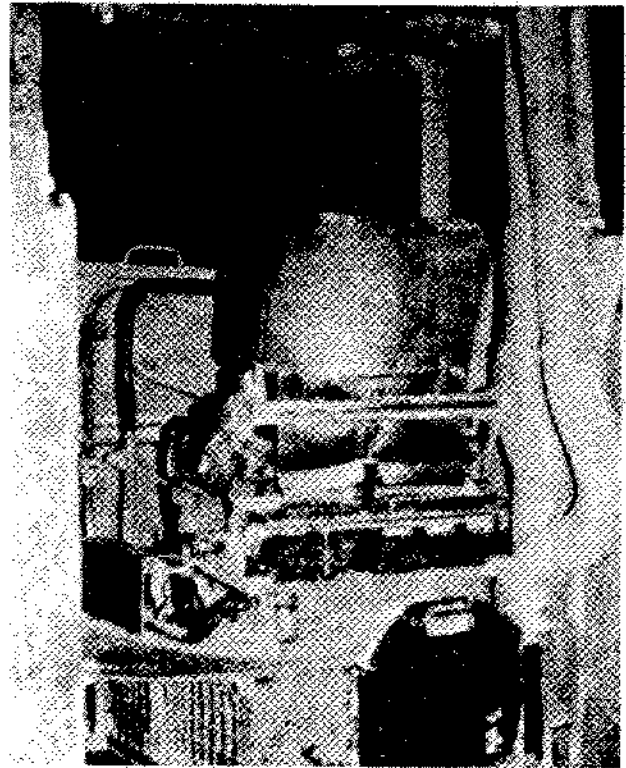
Das beste Betriebsergebnis erzielte die isolierte Fahrer-vollkabine mit einer Kleinklimaanlage der Fa. Konvekta, Schwalmstedt. Der Verdampfer wird unter dem Fahrdach, der Kondensator und der Kompressor außerhalb der Kabine auf dem Fahrzeug montiert. Dieses Autokühlgerät wurde in der Zwischenzeit durch einige Verbesserungen dem rauen Untertagedauerbetrieb und speziell den Salzstaubverhältnissen angepaßt.



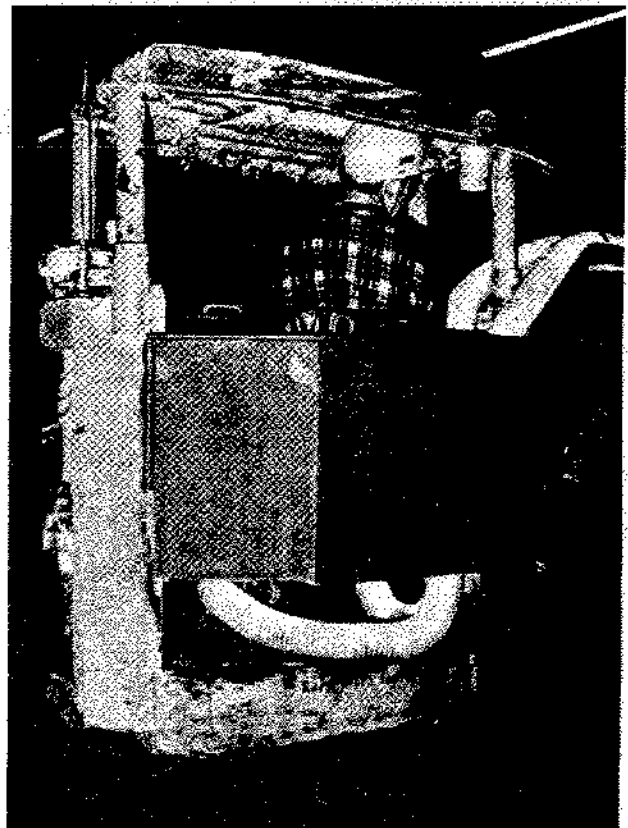
Figur 9. Oberflächentemperaturen; Fahrerstand-Stirnfläche "ST-8V".



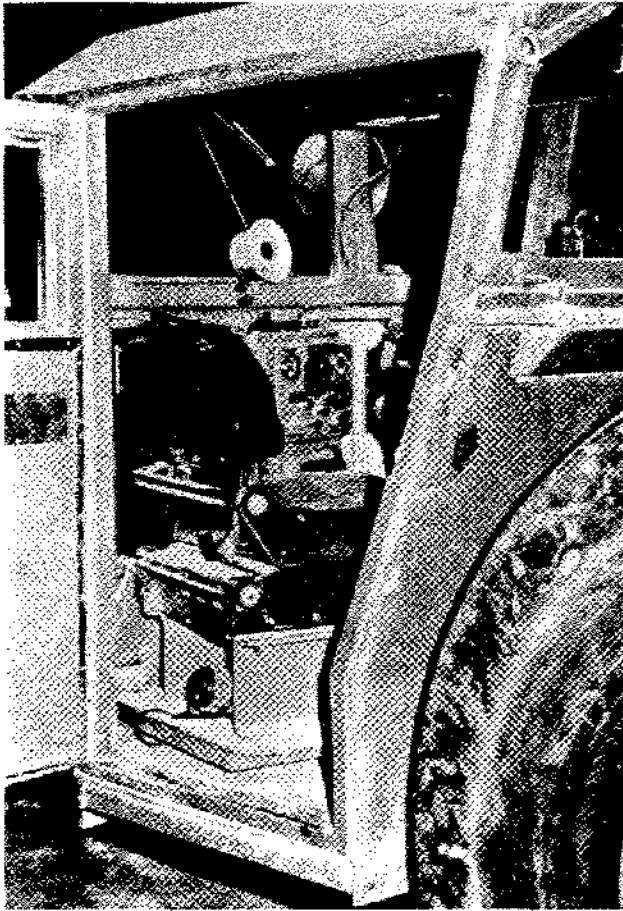
Figur 10. Strahlungstemperaturen vor und nach der Isolierung des Fahrerstandes vom GHH Schaufellader ST 8V bei einer Ortstemperatur von +46° C.



Figur 11. Klimatisierung im Fahrerstand eines Grossladers mittels Kühlluftkopfdüsen (offener Fahrerstand).



Figur 12. Halbgeschlossener Fahrerstand mit Fußraumkühlung.



Figur 13. Fahrerkabine mit Verdampferkühlung unter dem Fahrerdach.

EINIGE TECHN. DATEN:

Kühlleistung: 5,8 kW

Umluftmenge: 200 m³/h bei 10 %iger Frischluftzufuhr

Temperaturreduzierung: max. 20°C

Kältemittel: Frigen R 12

Hervorzuheben ist, daß die klimatisierbare Vollkabine ausserdem weitere Annehmlichkeiten für den Fahrer bringt, weil er von den unangenehmen Einwirkungen durch Lärm, Salzstaub und Fahrtwind weitgehend befreit wird. Als günstigstes Innenklima wird eine Trockentemperatur zwischen 25 und 30°C bei einer relativen Feuchte um 25% angesehen. Die Installation einer Klimakabine hat sich gut bewährt und wird außer auf den Fahrladern auch auf Beraubefahrzeugen und Gradern eingebaut.

MANNKÜHLUNG UND KÜHLKLEIDUNG

Seit ca. 2 Jahren beschäftigt sich ein Arbeitskreis mit der Entwicklung und Erprobung von Wärmeschutzkleidungen und den dazugehörigen Versorgungssystemen. In einer hochmechanisierten Salzgrube sind überwiegend Einnannarbeitsplätze vorhanden, so daß der Gedanke naheliegt, die

Kühlmaßnahmen direkt auf den Mann auszurichten, indem man ihm durch eine Kühlkleidung ein angenehmes Mikroklima verschafft. Alle bisher in der Literatur bekanntgewordenen Kühlkleidungen sind für den Salzbergbau nicht geeignet, da wir folgende Forderungen an eine Kühlkleidung stellen müssen:

1. Guter Tragekomfort, d. h. geringes Gewicht, keine nennenswerte Behinderung bei der Arbeitsleistung, haltbar, widerstandsfähig, gute Reinigungsmöglichkeit und Mindesteinsatzzeit von 250 Schichten.
2. Gute Eignung für Einsatzbedingungen in Temperaturbereichen von 50–60°C bei relativen Feuchten von 10–20% im 7–8 Stundenschichteinsatz je Arbeitstag.
3. Ausreichender Kühlkomfort, d. h. Wärmeabfuhr von ca. 406 W, davon 290 W für den Energieumsatz des arbeitenden Menschen bei mittelschwerer Arbeit, rd. 116 W für Isolierungsverluste an der Außenhaut der Kleidung. Gleichmäßige Verteilung und gute Regulierbarkeit der Kühlleistung entsprechend den subjektiven Bedürfnissen des Trägers.
4. Geringer Betriebskostenaufwand und Verwendung betriebssicherer Kühlmedien in möglichst autarken Systemen.

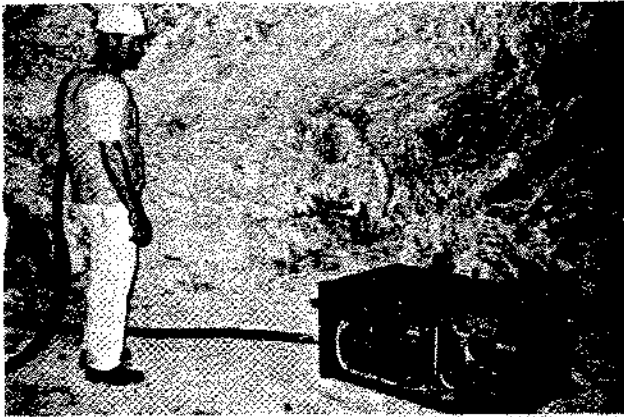
Die zur Zeit auf Tragekomfort und Kühleigenschaften geprüften Kühlkleidungen sollen im folgenden vorgestellt werden.

KÜHLWESTE DER FA. ALFRED WITTIG, EMMERICH

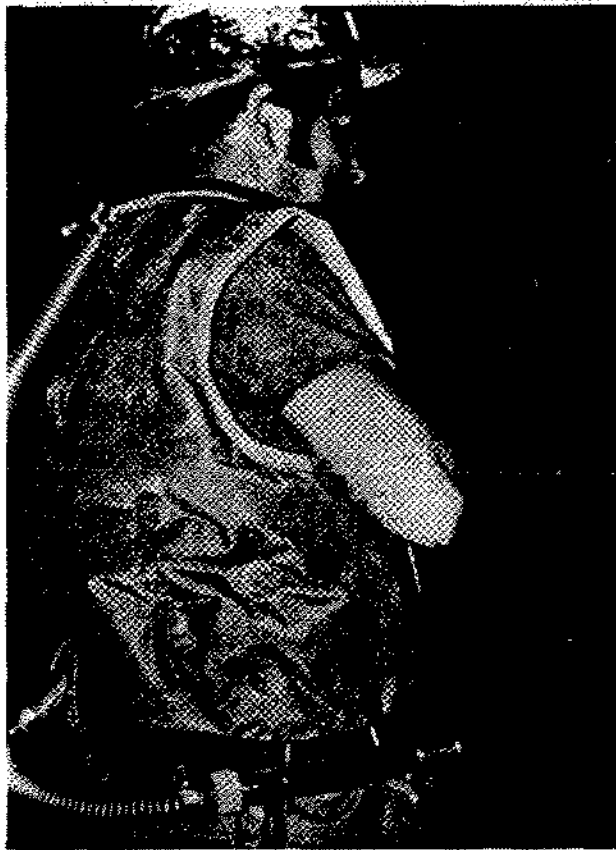
Die Weste besteht aus einem doppelwandigen Plastikmaterial, das zur Körperseite hin perforiert ist. Sie wird durch Kühlluft leicht aufgeblasen, wobei die Luft durch die Öffnungslöcher, die gleichmäßig auf die gesamte Westenfäche verteilt sind, austritt und eine angenehme Kühlung bewirkt. Die mittels Schlauchleitung herangeführte Kühlluft wird entweder in einer tragbaren Kältemaschine oder durch eine Vortexdüse erzeugt (Fig. 14–15). Das Kälteaggregat hat eine Kühlleistung von 1,5 kW und eine Kühlluftmenge von 1600 m³/h. Die Kühlluft gelangt über einen 12 m langen 1"-Plastikschlauch, der mit Armaflex isoliert ist, in die Kühlweste.

Erste Meßergebnisse zeigen, daß max. Kühlluftmengen von 1 m³/min beim Eintritt in die Weste ausreichen, um dem Anzugträger ein angenehmes Mikroklima im Oberkörperbereich zu schaffen. Die erzeugte Kühlluft ist max. um 25°C niedriger als die Ortstemperatur. Die gewünschte Kälteleistung kann über die Luftmenge reguliert werden. Die Versuchspersonen geben an, daß eine Kühltemperatur von 35°C zwischen Weste und Körper am angenehmsten ist.

Kühlluft kann aber auch aus Druckluft erzeugt werden, die durch ein Düsensystem, der sogenannten Vortexdüse, geleitet wird. Dieses System entspannt die zugeführte



Figur 14. Wittig-Kühlweste angeschlossen an eine Kältemaschine.



Figur 15. Wittig-Kühlweste mit Vortexdüsenkühlung.

Druckluft bei gleichzeitiger Arbeitsleistung innerhalb der Düse, wodurch eine Trennung von Heiß- und Kaltluft erfolgt, etwa im Verhältnis 40:60. Durch die Vortexdüse fließen Druckluftmengen von 700 l/min bei einem Überdruck von 5–7 bar. Dabei entstehen aus der 50–60°C warmen Druckluft Kühlluftmengen von maximal 420 l/min mit einer Temperaturdifferenz Δt von 25–30°C.

Die Vortexdüse ist leicht regulierbar, so daß die gewünschte Westentemperatur jederzeit nach subjektivem Wohlbefinden eingestellt werden kann. Sie wird an einem Gürtel getragen und stellt einen geringen apparativen Aufwand dar. Die Ausrüstung der Weste erlaubt den Anschluß eines Nackenringes, über dessen nach oben gerichtete Luftaustrittslöcher eine Kopfkühlung möglich ist. Die eigentliche Körperkühlung erfolgt durch Konvektion und Schweißverdunstung.

WÄRMESCHUTZANZUG DER FA. HEINRICH VORNDAMME, HORN/RAD MEINBERG

Der Schutzanzug der Fa. Vorndamme ist ein allseitig geschlossener Overall aus leicht porösem Plastikstoff. Auch hier befindet sich der Kühlschlauchanschluß im Rücken. Das ursprünglich vorhandene Sichtfenster des Vollanzuges wird soweit entfernt, daß der Anzugträger sowohl gefilterte Kühlluft als auch Außenluft einatmen kann (Fig. 16, 17).

Die Kühlluft wird in der oben beschriebenen Weise erzeugt, sie bläst den Anzug leicht auf, ohne daß die Bewegungsfreiheit beeinträchtigt wird. Sie verläßt den Anzug durch das Sichtfenster, durch die Arm- und Beinöffnungen und allflächig durch den porösen Anzugstoff. Zur Abführung der Wärmeproduktion des mittelschwer arbeitenden Mannes—ca. 290 W—wird eine Kühlluftmenge von 100 m³/h benötigt, um ein Mikroklima bei 60°C Außentemperatur von ca. 35°C zu erreichen.

KÜHLWESTE DER DRÄGERWERK AG

Während die obengenannten Kühlluftkleidungen größeren apparativen Aufwand wie Klimagerät oder Kompressor mit Vortexdüse erfordern und den Anzugträger an eine Schlauchleitung binden, stellt die neuentwickelte Kühlweste der Drägerwerke ein völlig autarkes Kühlsystem dar.

Diese Kühlkleidung besteht aus den drei Hauptbestandteilen: 1) einer inneren, von Kühlflüssigkeit durchströmten Weste aus doppelwandigem Plastikmaterial 2) einer pon-



Figur 16. Vorndamme-Wärmeschutzanzug mit Kältemaschine.



Figur 17. Vorlamme-Anzug mit Vortexdüsenkühlung (Anzugträger mit Fernsteuergerät eines Streckenbohrwagens).

choartigen, nach außen isolierten Abdeckung, und 3) einem Kühltopf mit Kühlmedium, Wärmetauscher und Kühlflüssigkeitspumpe (Fig. 18).

Die Kälteerzeugung erfolgt in dem rucksackartig getragenen Kühltopf, der mit 2,5 kg CO_2 -Trockeneis gefüllt wird. Die Temperatur von Trockeneis beträgt -78°C , die Sublimationswärme 570 KJ/kg Eis. Die Kühlmenge von 1400 KJ wird über einen Wärmetauscher dem vorbeifließenden Silikonöl übertragen. Das bei der Sublimation entstehende CO_2 -Gas mit einem Überdruck von 0,8 bar wird einer unter dem Topf montierten Membranpumpe zugeführt, die ihrerseits die Kälteflüssigkeit, das Silikonöl, innerhalb der Weste umpumpt. Durch eine Bypass-Steuerung kann die gewünschte Kühltemperatur des Silikonöls reguliert werden, außerdem können die Kühl-



Figur 18. Prototyp einer Dräger- CO_2 -Kühlweste mit Kopfkühlung.

mengen im Vorder- und Rückenteil der Weste sowie die Kopfkühlung durch Regelventile eingestellt werden. Die Wärmeproduktion des Körpers wird vorwiegend durch Wärmeleitung abgeführt. Eine einmalige CO_2 -Eisfüllung reicht bei mittlerer Arbeitsschwere für etwa 2 h bei Außentemperaturen bis 55°C . Die Kühlkleidung wird vom Drägerwerk weiter verbessert.

Die vorgestellten Kühlkleidungen erheben noch keinen Anspruch auf betriebliche Verwendbarkeit, sie zeigen zum gegenwärtigen Zeitpunkt lediglich Entwicklungsmöglichkeiten auf, wie eine effektive Mannkühlung aussehen kann. Die Forschungsarbeiten werden intensiv fortgesetzt, wobei zusätzlich neben der derzeitigen technischen Auswählerprobung eine arbeitsmedizinische Absicherung der Methodik erfolgen wird.