

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie, Berlin.)

Die Schaufelarbeit in gebückter Haltung.

Arbeitsphysiologische Studie.

Von

Burkhard Kommerell.

Mit 11 Textabbildungen.

(Eingegangen am 18. September 1928.)

Die vorliegende Studie gehört in die vom hiesigen Institut durchgeführte Untersuchungsreihe über die Ökonomie des Schaufelns. Nachdem *Wenzig*¹ die Schaufelarbeit in aufrechter Körperstellung untersucht hatte, fiel mir die Aufgabe zu, dieses Arbeitselement unter den Bedingungen zu studieren, die im Bergbau gegeben sind.

In vielen Gruben sind die Flöze von so geringer Mächtigkeit, daß die Arbeiter gezwungen sind, die Abbauarbeit bei einer verfügbaren Höhe von etwa 1,20 m oder weniger zu bewerkstelligen. Dies hat für die Schaufelarbeit weitgehende Konsequenzen; denn es ist hierbei nicht möglich, unter den absoluten Optimalbedingungen zu arbeiten. Kann sich der menschliche Körper so umstellen, daß er unter den so veränderten Bedingungen dieselbe Arbeit ohne Energieverlust zu leisten vermag? Offenbar nein! Jede Beeinträchtigung der normalen Arbeitsform durch äußere Momente führt zu einer Abänderung der Arbeitsbewegung. Es kommt notwendig zu einem Bewegungsablauf mit einer Reihe von energieverzehrenden Bewegungselementen, welche der geleisteten Nutzarbeit nicht zugute kommen.

Man möchte nun annehmen, daß sich gerade beim Bergbau allmählich eine Arbeitsform herausgebildet hat, welche ein relatives Optimum darstellt. Das ist aber offenbar nicht der Fall. Wir konnten in einem oberschlesischen Kohlenbergwerk feststellen, daß die Arbeiter in den etwa 1 m hohen Stollen keineswegs nach einem bestimmten System schaufeln. Jeder arbeitet so, wie es ihm für den Augenblick am günstigsten erscheint. Die Stellung der Beine, die Art, wie die Schaufel angefaßt wird, die Beteiligung des Rumpfes an der Bewegung, die Stellung, welche der Körper zu dem wegzuschaufelnden Kohlenhügel und zu der Schüttelrutsche einnimmt, ist bei den einzelnen Arbeitern außerordentlich verschieden. Es ist somit dringend erforderlich, hier gewisse Arbeitsnormen zu schaffen.

¹ *Wenzig*, Arb.physiol. **1**, (1928).

Eine weitere wichtige Frage, welche der Klärung bedarf, ist die Feststellung der optimalen Wurfweite. Der Abbau im Bergbau vollzieht sich in der Weise, daß von den Hauptgängen leicht ansteigende Stollen in das Flöz vorgetrieben werden. Von einem solchen Stollen aus wird nun in seiner ganzen Länge nach einer Seite hin abgebaut, indem das zu gewinnende Material abgeschlagen und auf die Schüttelrutsche, welche den Stollen auf seiner ganzen Länge durchzieht, geschaufelt wird. Dabei entfernt sich die Abraumstelle von der Schüttelrutsche natürlich immer mehr, so daß die Schüttelrutsche von Zeit zu Zeit nach der Abraumseite hin verlagert werden muß. Wie oft das zu erfolgen hat, hängt wesentlich davon ab, wie weit eben noch unter einigermaßen ökonomischen Verhältnissen geworfen werden kann.

Endlich wäre noch zu prüfen, ob eine Abänderung des Schaufelinstrumentes den Ertrag ohne Mehrbelastung des Arbeiters zu erhöhen vermag.

Versuchsordnung.

Um die Nutzlast konstant zu halten, wurde nicht einfach Sand oder Kohle geschaufelt, sondern wir verwendeten auch hier wie in den bereits veröffentlichten Versuchen von *Wenzig* Fußbälle, welche durch Sand- oder Schrotfüllung auf das jeweils gewünschte Gewicht gebracht worden waren. Es wurde also die Arbeit des Einstechens, die im praktischen Leben natürlich eine große Rolle spielt, fast gar nicht berücksichtigt. Der Energieverbrauch beim Einstechen ist wesentlich abhängig von dem Gewicht der aufzuladenden Nutzlast sowie von der Stückgröße und dem Widerstand, welcher dem Einstechen der Schaufel entgegengesetzt wird.

Die Bedingungen des niederen Stollens wurden bei unseren Versuchen in der Weise herbeigeführt, daß ein großes, an allen 4 Ecken mittels Drahtseil wagerecht aufgehängtes Brett von der Decke des Versuchsraumes herabgelassen wurde. Die Höhe dieses Brettes konnte weitgehend variiert werden.

Als Wurfziel wurde an Stelle der in den Bergwerken vorhandenen Schüttelrutsche eine einfache Rutschbahn konstruiert, deren Aufwurffläche sich 30 cm über dem Erdboden befand. Die Vorrichtung bewirkte, daß die geschaufelte Last von selbst wieder auf ihren Ausgangspunkt zurückkehrte.

Von der großen Zahl der überhaupt möglichen Fußstellungen wählten wir 3 Stellungen zur Untersuchung aus, die uns als besonders charakteristisch erschienen. Dieselben gehen aus den Abb. 1—3 hervor, welche den Situationsplan von oben betrachtet darstellen.

Die Schaufel bedurfte für unsere Versuche einer gewissen Abänderung. Das Schaufelblatt besaß besonders hohe Ränder und einen flachen Boden; so wurde ein seitliches Abrutschen der Fußbälle verhindert. Der Schaufelstiel war 90 cm lang, gemessen vom hinteren Rand des Schaufelblatts. Bei einer Reihe von Versuchen wurde ein kürzerer Schaufelstiel von 66 cm Länge verwendet. Der Schaufelgriff besaß die Form eines Steigbügels. Die Schaufel wurde stets so erfaßt, daß die rechte Hand den Griff umfaßte, während die linke Hand sich vorn am Schaufelstiel in nächster Nähe des Schaufelblatts befand. Die Schaufel hatte ein Gewicht von $2\frac{1}{2}$ kg.

Der Energieverbrauch bei einer bestimmten Versuchsordnung wurde mit der Douglasschen Sackmethode bestimmt. Wegen der Schwere der Arbeit wurde täglich gewöhnlich nur *ein* Arbeitsversuch ausgeführt. Außerdem wurde täglich der Ruheumsatz im Sitzen bestimmt.

Der Arbeitsversuch vollzog sich in der Weise, daß die Vp. zunächst einige Minuten in absoluter Körperruhe auf einem Stuhl sitzend unter dem künstlichen Dach verharrte. Der Sack lag während des Versuchs auf dem Dach, der Zuführungsschlauch gelangte durch eine kleine Öffnung zu dem Mundstück. So war die Vp. in ihren Bewegungen fast vollkommen frei. 0,1 Minute, nachdem der Douglas-

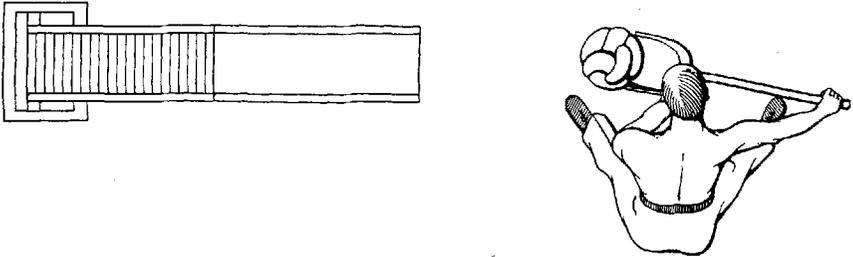


Abb. 1. Stellung I.

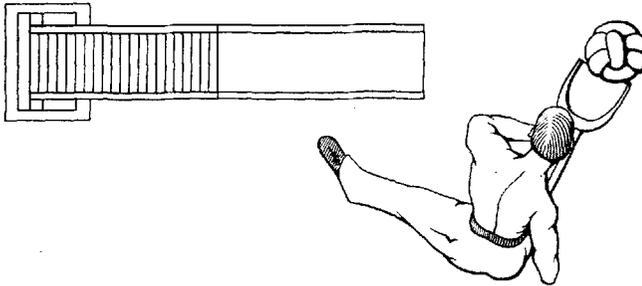


Abb. 2. Stellung II.

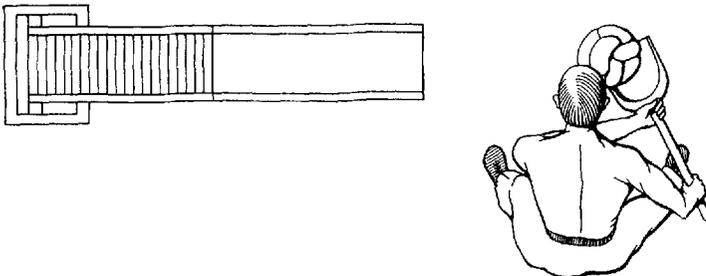


Abb. 3. Stellung III.

Sack geöffnet wurde, erhob sich die Vp., nach 0,2 Minuten wurde das 1. Mal geschaufelt und dann noch 9mal im Abstand von 0,2 Minuten. Nach genau 3,1 Minuten nahm die Vp. wiederum auf dem Stuhle Platz und verhielt sich bis zum Schluß des Versuchs absolut ruhig. Die Versuche dauerten stets 10 Minuten.

Im ganzen wurden 496 Versuche angestellt. Davon fanden jedoch nur 205 Ruheversuche und 222 Arbeitsversuche Verwendung, die übrigen Versuche konnten als Trainingsversuche nicht gewertet werden.

Die Übung hat bei der Schaufelarbeit in gebückter Haltung einen sehr erheblichen Einfluß auf die Größe des Energieverbrauchs. Es erwies sich als notwendig, das Training über mehrere Wochen auszu dehnen, ehe mit den eigentlichen Versuchen begonnen werden konnte. Wurde auf eine andere Arbeitsform übergegangen, so war jeweils ein Training von einigen Tagen notwendig.

Die anthropometrischen Maße der V. P. sind folgende:

Gewicht	60,5 kg
Scheitelhöhe	171,5 cm
Brustbeinhöhe	138,0 „
Akromionhöhe	140,6 „
Ellbogenhöhe	107,4 „
Handgelenkhöhe	82,6 „
Fingerspitzenhöhe	65,3 „
Darmbeinstachelhöhe	97,3 „
Höhe der Kniegelenkfuge	45,4 „
Knöchelhöhe	9,2 „
Fußlänge	27,6 „
Akromionbreite	39,4 „
Beckenbreite	30,5 „
Brustumfang, mittlerer	85,0 „
Brustumfang, tief eingeatmet	88,0 „
Brustumfang, ganz ausgeatmet	81,5 „
Oberarmumfang, gebeugt	28,5 „
Oberarmumfang, gestreckt	25,0 „
Unterarmumfang, größter	25,5 „
Unterarmumfang, kleinster	17,0 „
Oberschenkelumfang	49,5 „
Unterschenkelumfang, größter	35,0 „
Unterschenkelumfang, kleinster	21,0 „

Die Berechnung der äußeren Arbeit und der muskuläre Wirkungsgrad.

Die Berechnung der äußeren Arbeit stößt naturgemäß bei einer so komplizierten Bewegung, wie sie das Schaufeln darstellt, auf erhebliche Schwierigkeiten. Wir haben daher die Berechnung nur für die einfachste Form der Bewegung, nämlich die in Stellung I durchgeführt (s. Abb. 1).

Wir betrachten die Bewegung, ähnlich wie das schon in der vorangehenden Arbeit von *Wenzig* beschrieben ist, als zusammengesetzt aus drei Teilen, nämlich dem Heben der Last vom Boden bis zum tiefsten Punkt der Wurfbahn, der Pendelbewegung nach rückwärts und aus dem Durchschwingen nach vorn unter Kraftentfaltung. Dabei nimmt die Geschwindigkeit bis zu einem Maximum zu. In diesem Augenblick beginnt der Ball das Schaufelblatt zu verlassen, die Schaufel aber schwingt aus bis zur Geschwindigkeit Null. Es wird also im Gegensatz zum Schaufeln in aufrechter Stellung die Last nicht mehr vom tiefsten Punkt der Schaufelbahn um eine gewisse Strecke mit der Schaufel

hochgehoben. Dadurch vereinfacht sich das Berechnungsverfahren, weil nicht wie in der vorangegangenen Arbeit von *Wenzig* die Geschwindigkeit des Balles im Moment des Abwurfs besonders berechnet werden muß.

Zur Erfassung der äußeren Arbeit bestimmen wir die lebendige Energie am Punkt der maximalen Geschwindigkeit. Außerdem müssen wir aber noch die Hubarbeit vom Fußboden bis zu diesem Punkt zählen. Auf diese Weise erfassen wir alle auf den Ball einwirkenden Kräfte, nämlich

1. die Hubarbeit bis zum *tieftsten Punkt* der Wurfbahn,
2. Hubarbeit des Zurückpendelns,
3. Arbeit durch Kraftentfaltung beim Durchschwingen nach vorn.

Ist die Belastung der Schaufel P Kilogramm, so ist die lebendige Energie $\frac{P \cdot v^2}{2 \cdot 9,81}$. Die Geschwindigkeit v wurde in der üblichen Weise aus einer Lichtbahnkurve ermittelt.

Die Schaufel war an dem Übergang vom Stiel zum Blatt mit einem konstant brennenden Glühlämpchen armiert. Wurde nun während einer Wurfbewegung das Lämpchen photographiert, so entstand auf der Platte ein getreues Abbild der Bewegungskurve. Durch ein dicht vor dem Objektiv rotierendes Flügelrad wurde der aufgefangene Lichtstrahl 186,1 mal in der Sekunde unterbrochen. Dadurch entstand auf der Platte eine unterbrochene Kurve (Abb. 4). Aus dem Abstand der einzelnen Striche läßt sich die Geschwindigkeit an jeder Stelle der Bewegungskurve berechnen. Der Maßstab für unsere photographisch verkleinerte Bewegungskurve sowie ihre Lage relativ zum Fußboden wurde, wie schon von *Wenzig* ausführlich beschrieben, in der Weise gefunden, daß vor der Aufnahme der Bewegungskurve auf dieselbe photographische Platte 2 Positionslampen, welche sich 36 cm über dem Fußboden in einem gegenseitigen Abstand von 50 cm und außerdem im gleichen Abstand vom Objektiv wie die Schaufel befanden, mitphotographiert wurden. Auf der Platte bildeten sich folglich außer der Kurve 2 Punkte, aus deren Abstand sich der Maßstab für das verkleinerte Abbild der Bewegungskurve ergab.

Wir zeigen die Berechnung an einem Fall, bei welchem 9 kg in Stellung I über eine Distanz von 2 m alle 7,5 Sekunden geschaufelt wurden. Die maximale Geschwindigkeit ergab sich aus der Bewegungskurve (Abb. 4) zu 3,86 m pro Sekunde. Der Punkt der maximalen Geschwindigkeit lag 0,22 m über dem Fußboden. Die äußere Arbeit war also

$$\frac{9 \cdot 3,86^2}{2 \cdot 9,81} + 9 \cdot 0,22 \text{ mkg} = 8,82 \text{ mkg} = 20,65 \text{ cal.}$$

Der Calorienverbrauch des Körpers für diese Arbeit war 666 Calorien. Wollen wir den muskulären Wirkungsgrad bestimmen, so müssen wir davon noch die Calorien für die Leerbewegung und den für die Aufrechterhaltung der Körperstellung erforderlichen Energieaufwand in Abzug bringen, den wir im folgenden als *Haltungsarbeit* bezeichnen wollen (vgl. den folgenden Abschnitt). Wir erhalten dann 666—102—89 Calorien = 475 Calorien. Von diesen 475 cal wurden also nur 20,65 cal (= 4,35%) als mechanische Energie frei, der Rest wurde zu Wärme. Der mechanische Wirkungsgrad der Muskulatur betrug also 4,35%.

War die Wurfweite unter sonst gleichen Bedingungen 50 cm größer, so fanden wir eine Maximalgeschwindigkeit von 4,23 m pro Sekunde in einer Höhe von 30 cm über dem Erdboden. Die äußere Arbeit war in diesem Falle $10,85 \text{ mkg} = 25,4 \text{ cal}$. Der Calorienverbrauch für diese Arbeit wurde nach Abzug der Calorien für Leerbewegung und Körperstellung zu 677 cal gefunden. Der Wirkungsgrad war daher mit 3,75% etwas ungünstiger als bei der kürzeren Wurfweite.

In den Stellungen II und III erwies sich die Form der Arbeitsbewegung so kompliziert, daß sich eine einigermaßen zuverlässige Be-

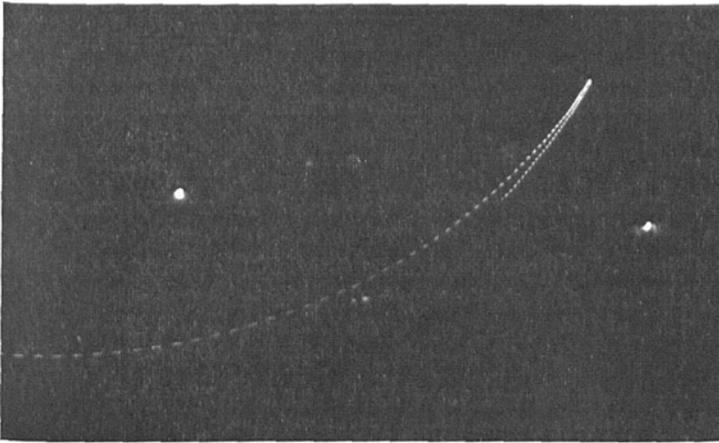


Abb. 4.

rechnung der äußeren Arbeit nicht durchführen ließ. Denn es tritt durch die Rumpfdrehung und die größere Transportarbeit am Ball eine zusätzliche Komponente auf, die nicht zu erfassen ist. Wir haben daher von einer Berechnung des muskulären Wirkungsgrades in diesen Stellungen abgesehen.

Der muskuläre Wirkungsgrad hat ja vor allem theoretisches Interesse. Der von uns in den beiden einfachsten Fällen gefundene Wirkungsgrad von 4,35 bzw. 3,75% liegt in demselben Bereich, wie ihn schon *Wenzig* gefunden hatte. Er muß als sehr niedrig angesprochen werden. Wir können daraus den Schluß ziehen, daß bei der Arbeit des Schaufelns in gebückter Haltung die Muskulatur unter ziemlich ungünstigen Bedingungen arbeitet. Den Praktiker interessiert in erster Linie die Menge des unter möglichst geringem Energieverbrauch geförderten Materials. Wir werden daher diesen praktischen Gesichtspunkt ganz in den Vordergrund unserer Betrachtungen stellen.

Die Leerbewegung, die Haltungsarbeit und das günstigste Arbeitstempo.

Um den Anteil der Leerbewegung und der Haltungsarbeit bei dem Arbeitsvorgang getrennt bestimmen zu können, haben wir zwei Reihen von Versuchen angestellt. Dabei verstehen wir unter Leerbewegung die mit der unbelasteten Schaufel ausgeführte Körperbewegung. Bei der Haltungsarbeit handelt es sich nicht um den statischen Anteil der Muskelarbeit, sondern lediglich um die auf die Beibehaltung der jeweiligen Körperstellung entfallenden Calorien.

In einer ersten Reihe wurde eine Last von 5 kg alle 7,5 Sek. geschaufelt. Ist A die für jedes Kilogramm aufgewendete Energie nach Abzug der Leerbewegung und Haltungsarbeit, so zerfällt die für jedes Kilogramm aufgewendete Gesamtenergie in die eigentliche Arbeit $A + \frac{1}{5}$ der Leerbewegung $+ \frac{1}{5}$ der in 7,5 Sek. geleisteten Haltungsarbeit. Nach unseren Versuchen können wir folgende Gleichung aufstellen:

$$(1) \quad A + \frac{1}{5}L + \frac{7,5}{5} \text{ H. A.} = 94,1 \text{ cal,}$$

worin L die Leerbewegung und $H. A.$ die Haltungsarbeit in einer Sekunde bedeutet. In einer zweiten Reihe von Versuchen wurde unter sonst gleichen Bedingungen eine Last von 11 kg alle 16,5 Sek. geschaufelt. Dafür ließ sich eine entsprechende Gleichung aufstellen:

$$(2) \quad A + \frac{1}{11}L + \frac{16,5}{11} \text{ H. A.} = 83,0 \text{ cal.}$$

Subtrahieren wir (2) von (1), so hebt sich die eigentliche Arbeit sowie die Haltungsarbeit heraus, und wir erhalten

$$\frac{1}{5}L - \frac{1}{11}L = 94,1 - 83,0$$

$$L = 101,8 \text{ cal.}$$

Die Haltungsarbeit, sowie die für jedes geschaufelte Kilogramm aufzuwendende eigentliche Arbeit A können wir nun leicht aus einer anderen Versuchsreihe bestimmen. Der Energieverbrauch bei einer Belastung von 9 kg betrug 666 cal pro Schaufelhub, bei einer Belastung von 17 kg 1088 cal pro Schaufelhub unter sonst gleichen Bedingungen. Daraus ergeben sich unter Verwendung der nunmehr bekannten Leerbewegung zwei Gleichungen:

$$(3) \quad 9A + 102 + 7,5 \text{ H. A.} = 666 \text{ cal}$$

$$(4) \quad 17A + 102 + 7,5 \text{ H. A.} = 1088 \text{ cal}$$

Durch Subtrahieren erhält man $8A = 422 \text{ cal}$

$$A = 52,8 \text{ cal.}$$

Dieser Wert wird in Gleichung (3) eingesetzt und nach $H. A.$ aufgelöst:

$$9 \cdot 52,8 + 102 + 7,5 \text{ H. A.} = 666 \text{ cal}$$

$$\text{H. A.} = 11,88 \text{ cal.}$$

Aus den drei Werten L , A und $H. A.$ können wir nunmehr jeden Energiewert bei beliebiger Last vorausberechnen. Zum Beispiel: es wird ein

Ball von 13 kg Gewicht alle 7,5 Sek. geschaufelt, der Energieverbrauch setzt sich zusammen aus

der eigentlichen Arbeit	13 A = 13 · 52,8 =	686 cal
+ der Leerbewegung	L =	102 cal
+ der Haltungsarbeit	7,5 H.A. = 7,5 · 11,88 =	89 cal
		877 cal.

Das Experiment ergibt 880 cal, also eine sehr gute Übereinstimmung mit dem berechneten Wert.

Vergleichen wir nun die Zahlenwerte für Leerbewegung und Haltungsarbeit mit dem eigentlichen Energieverbrauch für jedes Kilogramm zusätzlicher Belastung, so fällt auf, daß sowohl die Leerbewegung wie die Haltungsarbeit eine nicht unbeträchtliche Energiemenge für sich beanspruchen. Daraus erklärt sich, daß eine Arbeit mit niedrig gewählter Schaufellast ziemlich unrationell hinsichtlich des erforderlichen Energieaufwandes ausgeführt wird. Schaufelt man beispielsweise 4 kg alle 12 Sek., so setzt sich der Energieverbrauch folgendermaßen zusammen:

Produktive Arbeit	211 cal	
Leerbewegung	102 „	}
Haltungsarbeit	142 „	
		244 cal.

Man erkennt daraus, daß für die Leerbewegung und die Haltungsarbeit zusammen mehr Calorien verbraucht werden als zur Bewältigung der 4 kg. Das äußert sich in einem sehr ungünstigen Wirkungsgrad. Mit steigender Belastung wird natürlich der Anteil der Leerbewegung viel geringer und damit der Wirkungsgrad günstiger. Bis zu welcher Belastung man ohne Nachteil gehen kann, wird im folgenden Kapitel besprochen.

Die Haltungsarbeit, die wir zu 11,88 cal pro Sekunde gefunden haben, muß als sehr hoch angesprochen werden. Der Energieverbrauch selbst fällt dabei nicht so sehr ins Gewicht, er kann uns jedoch als ein Maßstab für die durch den statischen Anteil der Bewegung wesentlich bedingte Ermüdung gelten.

Der Energieverbrauch für die Haltungsarbeit ist aus dem Grund so beträchtlich, weil der Arbeitende infolge der geringen Höhe des Stollens den Rumpf stark nach vorn beugen muß. Dabei fällt den langen Rückenmuskeln sowie dem Glutacus maximus die Aufgabe zu, den Oberkörper am Vornüberfallen zu verhindern. Die genannten Muskeln arbeiten „statisch“. Diese Arbeit führt daher rasch zu starker Ermüdung.

Da die statische Arbeit um so größer ist, je länger der Arbeitende die gebückte Haltung einnehmen muß, so dürfte es sich für die Praxis empfehlen, ein möglichst schnelles Arbeitstempo zu wählen und öfter kurze Ruhepausen einzuschalten. Das geht sehr überzeugend aus dem

Ergebnis zweier Versuche hervor, bei welchen das eine Mal 11 kg alle 7,5 Sek. und das andere Mal die gleiche Last alle 16,5 Sek. geschaufelt wurde. Der Energieverbrauch war das eine Mal 705 cal, das andere Mal 904 cal. Der Unterschied von 200 cal kann nur zu Lasten der Haltungsarbeit gebucht werden. Der statische Anteil bei der zweiten Arbeitsweise war also enorm groß. Die Ermüdung würde darum sehr bald in Erscheinung treten. Das langsame Arbeitstempo war unrationell. Mit dem gleichen Energieaufwand hätten bei schnellerem

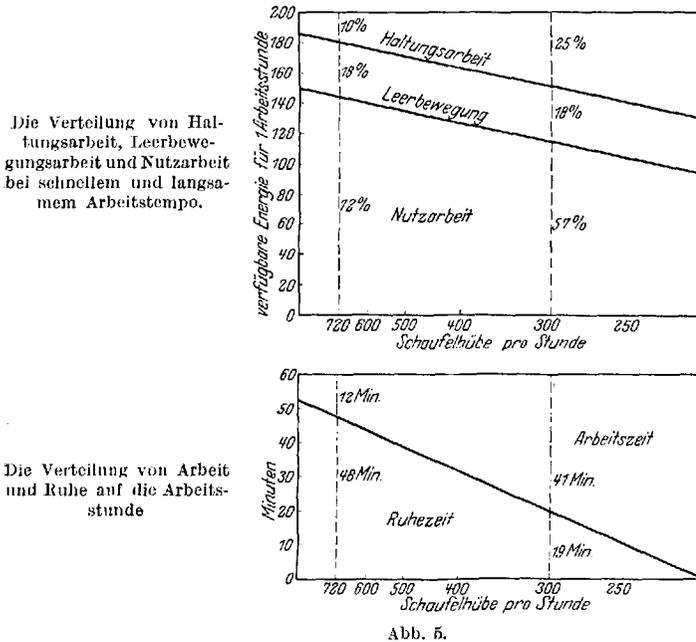


Abb. 5.

Tempo 2 kg mehr bei jedem Schaufelhub bewältigt werden können, dazu unter geringerer Ermüdung.

In Abb. 5 haben wir ein Arbeitsdiagramm aufgestellt, dessen Abszisse als Maßstab das Arbeitstempo zugrunde liegt. Der Übersichtlichkeit halber ist das Arbeitstempo in Zahl der Bewegungen pro Stunde angegeben. Wir gingen von der Annahme aus, daß dem Arbeiter für eine Arbeitsstunde außer dem Ruheumsatz noch 200 Cal für die Arbeit zur Verfügung stehen. Der obere Teil der Abb. 5 zeigt nun, wie sich bei verschiedenem Arbeitstempo diese verfügbare Energie auf die Haltungsarbeit, Leerbewegung und Nutzarbeit verteilt. Der untere Teil der Abbildung gibt gleichzeitig an, wieviel von der Arbeitsstunde auf eigentliche Arbeitszeit und auf Ruhepausen entfällt. Vergleichen wir

nun ein langsames Arbeitstempo von beispielsweise 300 Schaufelhüben pro Stunde mit einem schnellen Arbeitstempo von 720 Schaufelhüben pro Stunde, so erkennen wir zunächst, daß von den zur Verfügung stehenden 200 Cal. im ersten Fall nur 57%, im zweiten Fall dagegen 72% der Nutzarbeit zugute kommen, dies bedeutet eine Verbesserung des Wirkungsgrades um 26,3%. Die Haltungsarbeit beträgt im ersten Fall 25%, im zweiten Fall nur 10%. Bei dem schnelleren Tempo macht sich daher die Ermüdung in weit geringerem Maße bemerkbar. Vergleichen wir nun aber, wie sich in unseren beiden Fällen Arbeit und Ruhe auf die Arbeitsstunde verteilen, so erkennen wir, daß bei Einhaltung des langsamen Arbeitstempos 41 Min. lang gearbeitet werden muß, und daß nur 19 Min. für die Erholung bleiben. Bei dem schnellen Arbeitstempo dagegen braucht nur 12 Min. gearbeitet zu werden und 48 Min. bleiben für Erholungspausen. Das schnelle Arbeitstempo ist in jeder Hinsicht ökonomischer. Es gilt also auch hier der uns schon bekannte Grundsatz: Möglichst schnell arbeiten, dafür reichlich Erholungspausen.

Die Schaufellast.

Die Schaufellast ist in erster Linie abhängig von der Größe des Schaufelblattes. Stets muß die Größe des Blattes umgekehrt proportional der Zweidrittelpotenz des spezifischen Gewichts des zu schaufelnden Materials sein. Bei schwermetallhaltigen Erzen wird daher ein kleineres Schaufelblatt in Anwendung zu bringen sein als beim Schaufeln von Kohle.

Wir untersuchten nun, welche Belastung beim Schaufeln in gebückter Haltung als günstigste anzusehen ist. Dazu war es notwendig, bei einer Reihe von Versuchen nur die Last zu variieren und alle anderen Bedingungen konstant zu halten. Wir verwendeten daher eine Schaufel von gleichbleibender Schaufelblattgröße und veränderten lediglich das Gewicht der Bälle. Die V. P. schaufelte zunächst bei einer Stollenhöhe von 1 m in Stellung I auf kurze Distanz. Unter diesen Bedingungen stieg der Energieverbrauch selbst bis zu der extrem hohen Last von 17 kg bei jedem Schaufelhub genau proportional der Belastung an. Eine Beeinträchtigung des Wirkungsgrades konnte also in diesem Falle nicht beobachtet werden. Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit kann man aber annehmen, daß der Wirkungsgrad bei noch höherer Belastung eine Herabsetzung erfahren würde. Eine derartige Belastung überschreitet jedoch die Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit. In Tab. 1 haben wir die Versuche zusammengestellt.

Die Werte werden in Abb. 6 in Kurvenform wiedergegeben. Aus dem gradlinigen Ansteigen der Kurve des Energieverbrauches bei zunehmender Belastung erkennt man die Proportionalität zwischen Be-

Tabelle 1.

(Stellung I, Wurfweite 2 m, Stollenhöhe 1 m, Arbeitstempo 7,5 Sekunden, normaler Schaufelstiel.)

Belastung:	5 kg	7 kg	9 kg	11 kg	13 kg	15 kg	17 kg
Calorien pro Schaufelhub.	470	484	666	705	880	1017	1089

lastung und Energieverbrauch. Der Energieverbrauch für jede Belastung baut sich auf dem Calorienverbrauch für Leerbewegung und

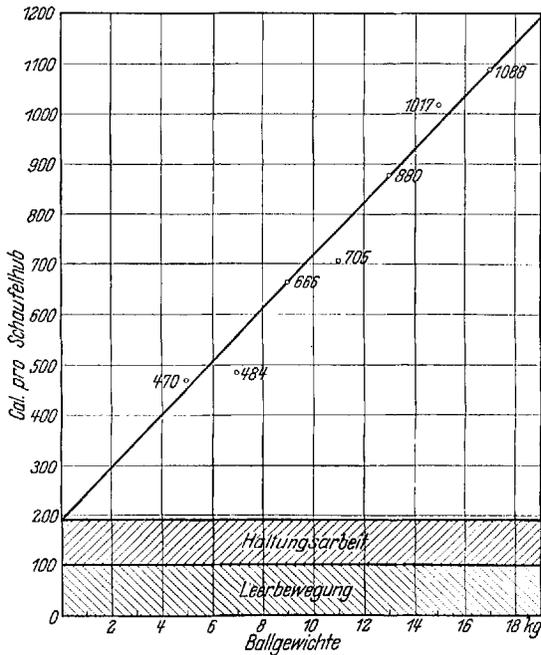


Abb. 6.

Haltungsarbeit, die immer konstant bleiben, auf. Bei der Belastung Null würde daher der Energieverbrauch nur durch Leerbewegung und Haltungsarbeit, welche zusammen 180 cal ausmachen, bedingt sein. Tatsächlich schneidet unsere Kurve auch den Punkt 180 auf der Ordinate.

Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn über eine größere Distanz geschaufelt wird. In einer anderen Versuchsreihe arbeitete nämlich die V. P. auf 3 m Entfernung in Stellung II bei 1 m Stollenhöhe (Tab. 2, Abb. 7). Dabei stellte sich heraus, daß der Energieverbrauch unverhältnismäßig stark ansteigt, sobald die geförderte Last 11 kg überschreitet. Bei höherer Belastung wird die Arbeitsbewegung eine andere und daraus resultiert eine Verschlechterung des Wirkungsgrades.

Tabelle 2.

(Stellung II, Wurfweite 3 m, Stollenhöhe 1 m, Arbeitstempo 12 Sekunden, kurzer Schaufelstiel.)

Belastung:	7 kg	9 kg	11 kg	13 kg
Calorien pro Schaufelhub	845	906	985	1250

Für die Praxis, wo es sich recht häufig um größere Distanzen beim Schaufeln handelt, wird es sich daher empfehlen, die Größe des Schaufelblattes im Hinblick auf das zu schaufelnde Material so zu gestalten, daß eine höhere Belastung als 11 kg nicht vorkommen kann. Allerdings raten wir bis zu dieser Belastung heranzugchen, da der Anteil der Leerbewegung an der geleisteten Arbeit dann möglichst klein ist.

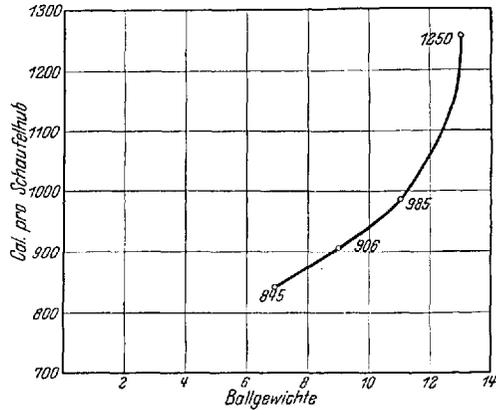


Abb. 7.

Die Aufstellung zum Aufladehügel und zum Wurfziel.

Stellung I (vgl. auch Abb. 1—3). In dieser Stellung erfolgt das Aufschaukeln der Last parallel zur Wurfbewegung. Die Wurfbewegung ist daher eine ziemlich genaue Pendelbewegung mit dem linken Humeruskopf als Drehpunkt (vgl. Abb. 8). Stellung I hat vielleicht mehr theoretisches Interesse. In der Praxis wird sie nur selten beobachtet, weil der Arbeitende in dieser Stellung über den Aufladeberg hinwegschaukeln müßte.

Stellung II. In dieser Stellung befindet sich die V. P. etwa in der Mitte zwischen Aufladehügel und Wurfziel. Bei der Arbeitsbewegung vollführt daher der in der Hüfte abgebeugte Rumpf eine Drehbewegung (vgl. Abb. 9).

Stellung III. In dieser Stellung ist die Bewegung des Rumpfes nicht so ausgiebig wie in Stellung II. Das Aufladen erfolgt im rechten Winkel zur Wurfbewegung (vgl. Abb. 10).

Vergleichen wir nun die einzelnen Stellungen hinsichtlich des Energieaufwandes bei gleicher Nutzarbeit:

Tabelle 3.

	2 m Wurfweite	2,50 m Wurfweite	3 m Wurfweite
Stellung I	774	922	1231
Stellung II	849	915	1009
Stellung III	770	908	1099

Aus Tab. 3 geht hervor, daß Stellung II bei kurzer Wurfweite zwar ungünstiger ist als die anderen Stellungen, mit zunehmender Wurfweite

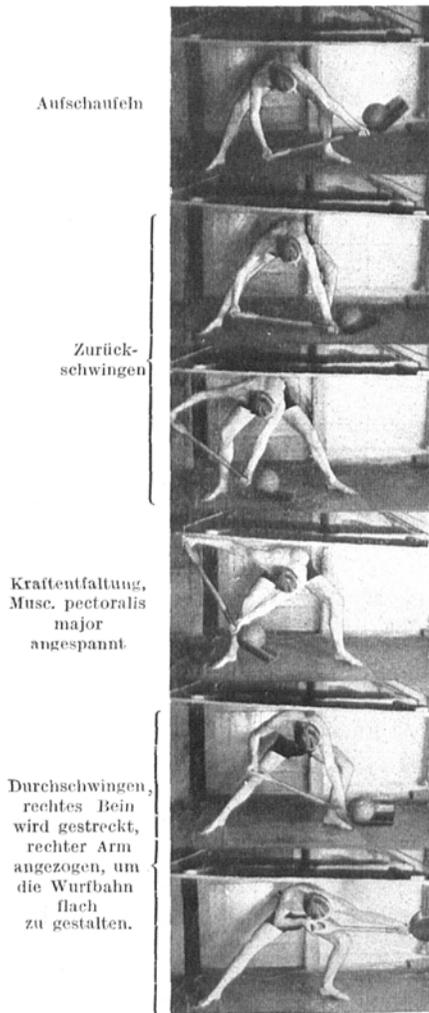


Abb. 8. Zeitlupenaufnahme der Arbeit in Stellung I. Der Rumpf macht keine ausgiebigen Bewegungen. Reine Pendelbewegungen des linken Armes mit dem linken Humeruskopf als Drehpunkt.

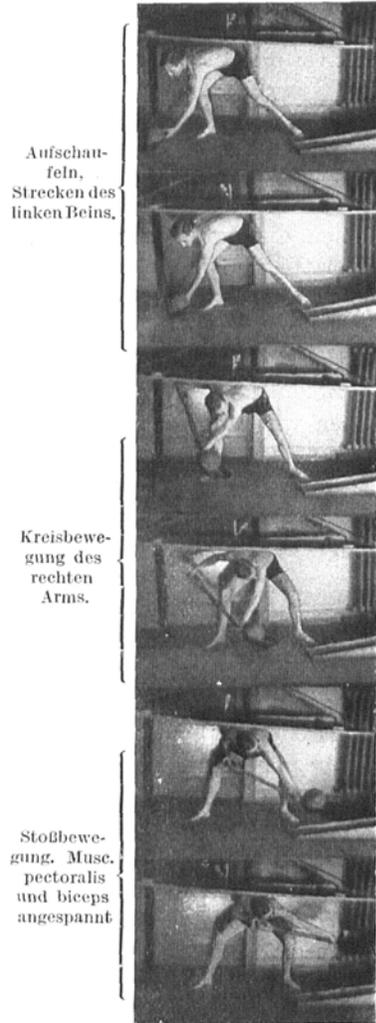


Abb. 9. Zeitlupenaufnahme der Arbeit in Stellung II. Ausgiebige Drehbewegung in der Hüfte.

jedoch immer günstiger wird, so daß bei 3 m Wurfweite der Energieverbrauch mit 1009 cal pro Schaufelhub weit unter dem Energieverbrauch bei den anderen Stellungen liegt. Dasselbe ergab sich bei Ver-

wendung eines kürzeren Schaufelstiels. Auch hier war, wie aus Tab. 4 hervorgeht, der Energieverbrauch bei Wurfweite 2,50 m und 3 m in Stellung II niedriger als in Stellung III.

Tabelle 4.
(Kurzer Schaufelstiel.)

	2,50 m Wurfweite	3 m Wurfweite
Stellung II . . .	876	906
Stellung III . . .	882	1005

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß sich die Versuchsperson durch anhaltendes Trainieren auf jede Stellung so einzuüben vermochte, daß die Arbeit in der betreffenden Stellung als vollkommen bequem empfunden wurde. Es besteht also von vornherein kein ausgesprochenes Gefühl für diejenige Arbeitsform, welche unter dem günstigsten Nutzeffekt geleistet wird. Allerdings macht sich bei länger dauernder Arbeit das Ermüdungsgefühl bei den verschiedenen Stellungen in etwas unterschiedlicher Weise geltend. Am wenigsten ermüdete die Versuchsperson in Stellung II. Das hat wohl darin seine Ursache, daß in dieser Stellung die Arbeit der Rückenmuskulatur keine rein statische ist. Durch das Hin- und Herbeugen des Rumpfes wird einmal die rechte und dann wieder die linke Hälfte der langen Rückenmuskulatur in Anspruch genommen. Infolge der Bewegung kommt es zu einer weit besseren Durchblutung der Muskeln, und infolge des alternierenden Aussetzens der rechten und linken Muskelgruppen

wird diesen Gelegenheit zum Ausruhen und damit zur Erholung gegeben. Es ist daher wohl verständlich, daß gerade die Arbeit in Stellung II weniger zu Ermüdungserscheinungen führt als in anderen Stellungen.



Abb. 10. Zeitlupenaufnahme der Arbeit in Stellung III.

Zusammenfassend können wir also sagen, daß für große Wurfweiten Stellung II zu bevorzugen ist. In späteren Versuchen mit dem kürzeren Schaufelstiel stellte sich sogar heraus, daß diese Stellung noch für Wurfweiten bis zu 3,50 m geeignet ist, ohne daß es dabei zu besonders starken Ermüdungserscheinungen kommt. Beim Schaufeln über kürzere Distanz als 2,50 m ist Stellung III zu bevorzugen. Stellung III kommt auch immer dann in Betracht, wenn eine ausgiebige Bewegung des Rumpfes, wie sie Stellung II mit sich bringt, durch Balkenwerk oder dergleichen an der Decke des Stollens behindert wird. Meist wird jedoch Stellung II möglich sein, da sich mit der Drehung des Rumpfes eine

starke Beugung verbindet. Dadurch werden dorsalliegende Hindernisse umgangen.

Die Wurfweite.

Stellen wir die Resultate der Tab. 3 und 4 in Form einer Kurve dar (Abb. 11), so erkennen wir, daß der Energieverbrauch mit zunehmender Wurfweite nicht ganz gleichmäßig ansteigt. Vielmehr weisen die Kur-

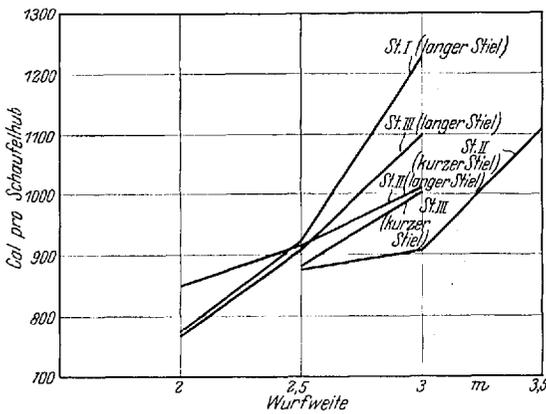


Abb. 11.

ven einen mehr oder weniger ausgesprochenen Knick bei Überschreitung einer Wurfweite von 2,50 m auf. Betrachten wir zunächst nur die Versuche mit dem langen Stiel, so fällt besonders der steile Verlauf der in Stellung I gewonnenen Kurve auf. Bei 3 m Distanz ist der Energieverbrauch in dieser Stellung schon außerordentlich hoch, der Wirkungsgrad also recht ungünstig. Den flachsten Verlauf nimmt die in Stellung II gewonnene Kurve. Für diese Stellung ist eine Wurfweite von 3 m noch ganz ökonomisch. Besonders günstig aber gestalten sich die Verhältnisse, wenn außerdem noch ein verkürzter Schaufelstiel zur Verwendung gelangt. Aus der dabei gewonnenen Kurve (Stellung II) kann man erkennen, daß unter diesen Umständen sogar eine Wurfweite von 3,50 m noch keinen allzu hohen Energieverlust mit sich bringt.

Dies ist offenbar dadurch zu erklären, daß der kurze Schaufelstiel bei weitem handlicher ist als der lange. Und gerade in Stellung II macht sich diese Handlichkeit besonders geltend, denn in dieser Stellung führt der Schaufelstiel eine fast vollkommene Drehung um 180° aus. Da beide Arme durch den Schaufelstiel in ihre Arbeitsbewegung gewisser-

maßen hineingezwungen sind, so ist es wohl verständlich, daß durch einen entsprechend kurzen Stiel die Armbewegungen einen weniger ausfahrenden Charakter bekommen.

Für die Praxis ergibt sich daraus die Folgerung, daß im Bergwerk mit dem Nachrücken der Schüttelrutsche solange zu warten ist, bis die Abraumstelle 3,50 m weit entfernt ist. Dann aber ist unbedingt eine Verlagerung der Schüttelrutsche wünschenswert. Wäre nämlich der Abstand größer, z. B. 4 m, so wären 2 Schaufelbewegungen zur Fortschaffung des Materials erforderlich. Der Energieverbrauch wäre dafür $2 \text{ mal } 775 = 1550 \text{ cal}$. Dies würde aber einen unverhältnismäßig hohen Mehraufwand an Energie mit sich bringen als bei einer einmaligen Schaufelbewegung von 3,50 m Wurfweite, wo der Energieverbrauch nur 1110 cal betragen würde.

Die Länge des Schaufelstiels.

Wir haben schon bei der Besprechung der zulässigen Wurfweite gesehen, wie zweckmäßig es ist, sich in einem Arbeitsstollen von nur 1 m Höhe eines kürzeren Schaufelstiels zu bedienen, als er gewöhnlich Verwendung findet. Vergleichen wir auf Abb. 11 die in Stellung II einmal mit langem Schaufelstiel und dann mit dem kürzeren Stiel gewonnenen Energiewerte, so erkennen wir, daß der Calorienverbrauch bei Verwendung des kürzeren Schaufelstiels bei den wichtigsten Wurfweiten über 2,50 und 3 m ungefähr 10% niedriger ist. Diese Tatsache konnten wir auch in anderen Stellungen immer wieder konstatieren. Wir geben in nebenstehender Tab. 5 eine Zusammenstellung aller Vergleichswerte von langem und kurzem Stiel.

Tabelle 5.

			Langer Stiel	Kurzer Stiel
Stollenhöhe 1 m	Stellung II	9 kg über 2,50 m	915 cal	876 cal
		9 „ „ 3,00 m	1009 „	906 „
	Stellung III	9 „ „ 2,50 m	908 „	882 „
		9 „ „ 3,00 m	1099 „	1005 „
Stollenhöhe 1,20 m	Stellung II	9 „ „ 2,50 m	821 „	809 „
		9 „ „ 2,50 m	857 „	827 „

Aus der Tabelle geht hervor, daß auch bei einer Stollenhöhe von 1,20 m der kurze Schaufelstiel immer noch günstiger ist, wenn auch die Unterschiede gegenüber dem langen Stiel nicht mehr so deutlich hervortreten wie bei der Stollenhöhe von einem Meter. Wir nähern uns also den Verhältnissen, wie sie bei der gewöhnlichen Schaufelarbeit in Erscheinung treten. Wie schon *Wenzig* zeigen konnte, bestehen bei der Schaufelarbeit in nicht gebückter Haltung innerhalb gewisser Grenzen keine Unterschiede bezüglich der verschiedenen Schaufellängen.

Aus unseren Versuchen ergibt sich die Nutzenanwendung, daß bei der Schaufelarbeit im Bergbau eine Schaufel mit einem kurzen Stiel den Vorzug verdient. Eine derartige Schaufel braucht nicht nur auf die Arbeit in den niederen Stollen beschränkt zu werden, sondern kann eine allgemeine Verwendung finden. Die kürzere Schaufel ist auch darum zweckmäßig, weil sie handlicher ist und ein geringeres Gewicht besitzt.

Die Höhe des Stollens.

Wenn auch die Höhe des Stollens durch die Mächtigkeit des Flözes gegeben ist, und damit eine nicht willkürlich zu bestimmende Größe darstellt, so ist es doch von größter Wichtigkeit, einen objektiven Maßstab für die durch eine niedere Stollenhöhe sich ergebenden Erschwerungen des Arbeitsvorganges zu gewinnen. Wir haben daher Vergleichsversuche angestellt bei einer Stollenhöhe von 1 m, 1,20 m und 1,40 m. Die Versuche wurden in Tab. 6 zusammengestellt.

Tabelle 6.

		Stollenhöhe			Verschlechterung des Wirkungsgrades durch die Erniedrigung der Stollenhöhe von 1,20 m auf 1 m in %
		1 m	1,20 m	1,40 m	
Stellung I	9 kg über 2,50 m, langer Stiel	922	811	—	13,7
Stellung II	9 „ „ 2,50 m, langer Stiel	915	821	—	11,5
Stellung II	9 „ „ 2,50 m, kurzer Stiel	876	809	—	8,3
Stellung III	9 „ „ 2,50 m, langer Stiel	908	857	—	6,0
Stellung III	9 „ „ 2,50 m, kurzer Stiel	882	827	825	6,7

Aus dem letzten Versuch kann man erkennen, daß zwischen einer Stollenhöhe von 1,40 m und einer solchen von 1,20 m kein deutlicher Unterschied besteht. Bis herab zu der Höhe von 1,20 m ist also die Schaufelbewegung gegenüber der aufrechten Haltung nur wenig verändert. Nimmt aber die lichte Höhe noch weiter ab, so kann man eine nicht unerhebliche Steigerung des Energieverbrauchs für ein und dieselbe Arbeit beobachten. Die dadurch zustande kommende Verschlechterung des Wirkungsgrades war am ausgesprochensten bei der Arbeit in Stellung I, im Durchschnitt betrug sie 10%. Der Mehrverbrauch in Calorien betrug im Durchschnitt 80 cal pro Schaufelhub. Bei Stollenhöhe 1,20 m können also durchschnittlich 1,5 kg bei jedem Schaufelhub mehr geschauelt werden als bei Stollenhöhe 1 m, ohne daß der Energieverbrauch deshalb höher ist.

Die Tatsache, daß der Energieverbrauch für ein und dieselbe Arbeit zunimmt, je niedriger der Arbeitsstollen gewählt wird, ist an sich wohl zu verstehen. Es liegt wohl vor allem daran, daß der Rumpf stärker nach vorn abgebeugt werden muß und dadurch den Rückenmuskeln

eine erhebliche Haltearbeit zufällt. Daneben spielt sicher die Beugung der Knie eine gewisse Rolle. Bei der Höhe 1,20 m können die Beine im Knie bei der Arbeit eben noch gestreckt gehalten werden, sobald der Stollen aber niedriger ist, wird eine Kniebeuge und damit eine Mehrarbeit der Ober- und Unterschenkelmuskulatur notwendig. Tatsächlich macht sich ja auch die Steigerung des Energieverbrauchs erst von 1,20 m an deutlich bemerkbar. Diese Grenze gilt jedoch strenggenommen nur für Personen von mittlerer Körpergröße (die Versuchsperson maß 1,72 m). Bei kleineren Personen dürfte die Grenze etwas niedriger, bei größeren etwas höher anzusetzen sein. Für die niedersten Stollen sollten daher möglichst die kleinen Arbeiter ausgesucht werden.

Für die Praxis können wir die Norm aufstellen, daß bei einer Erniedrigung der Stollenhöhe von 1,20 m auf 1 m der Arbeitsertrag bei gleicher Anspannung der Kräfte um 10% niedriger ausfallen wird. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß der Arbeitende bei jeder Beschränkung der lichten Höhe außerdem der Ermüdung in steigendem Maße ausgesetzt ist.

Zusammenfassung.

1. Mit der *Douglasschen* Sackmethode wird der Energieverbrauch beim Schaufeln in gebückter Haltung untersucht.
2. Die äußere Arbeit wird bestimmt, indem ein Lämpchen, welches an der Schaufel befestigt ist, photographiert wird. Der durch das Objektiv gelangende Lichtstrahl wird 186mal in der Sekunde durch eine rotierende Blende unterbrochen. Auf der Platte entsteht dann eine Kurve, bestehend aus einzelnen Punkten, aus deren Abstand die Geschwindigkeit der Bewegung berechnet werden kann.
3. Der muskuläre Wirkungsgrad ist im Durchschnitt 4%.
4. Die Leerbewegung wird zu 102 cal, die Haltungsarbeit zu 11,88 cal pro Minute berechnet.
5. Für die Praxis haben sich folgende Nutzenanwendungen ergeben:
 - a) Die Schaufellast darf 11 kg nicht übersteigen.
 - b) Beim Schaufeln auf Distanzen von weniger als 2,50 m ist Aufstellung III (Abb. 3), auf größere Distanzen Aufstellung II (Abb. 2) vorzuziehen.
 - c) Die Schüttelrutsche darf nicht weiter als 3,50 m von der Abbau-stelle entfernt sein.
 - d) Die Verwendung eines kurzen Schaufelstiels von 66 cm Länge ist um 10% rationeller als die eines Schaufelstiels von 90 cm Länge.
 - e) Die Erniedrigung des Arbeitsstollens von 1,20 m auf 1 m bringt eine Verschlechterung des Wirkungsgrades von 10% mit sich.
 - f) Möglichst schnelles Arbeitstempo, dafür reichlich Erholungs-pausen.