

(Aus der Abteilung für Arbeitsphysiologie [Vorsteher: Dr. E. Simonson] des Sozialhygienischen Untersuchungsamtes Frankfurt a. M. [Leiter: Med.-Rat Dr. L. Ascher].)

Rationalisierung industrieller Arbeit nach physiologischen Gesichtspunkten.

Erste Mitteilung:

Arbeitsphysiologische Rationalisierung des Formens auf Grund des Verhaltens des Energieverbrauchs.

Von

Ernst Simonson.

(Ausgeführt mit Hilfe der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft und der Allgem. Ortskrankenkasse Frankfurt a. M.)

Mit 16 Textabbildungen.

(Eingegangen am 12. Dezember 1928.)

I. Einleitung: Technische und arbeitsphysiologische Rationalisierung.

Die heute in allgemeiner Durchführung begriffene technische Rationalisierung hat zu der im Augenblick lebhaft diskutierten Frage geführt, ob durch die zunehmende Intensivierung der Arbeit die Gefahr einer Schädigung des Arbeiters besteht.

Bei der technischen Rationalisierung verlaufen 2 Prozesse nebeneinander, die hinsichtlich der Beanspruchung des Arbeiters in gegensätzlicher Weise ihren Einfluß ausüben: Die Abnahme von Arbeitsvorrichtungen durch Maschinenkraft wirkt ersparend, die zunehmende Beschleunigung des Arbeitsprozesses erhöhend auf den Kraftverbrauch. Die Zeitstudien des Ingenieurs erfolgen ja lediglich mit der Stoppuhr; es werden demnach von der Beseitigung vor allem die *zeitraubenden* Arbeitselemente betroffen, ohne Berücksichtigung der *körperlichen* Beanspruchung, die das betreffende Arbeitselement verursacht. Es ist nun wohl denkbar, und gerade die vorliegenden Untersuchungen sind ein Beispiel hierfür, daß kurzdauernde Arbeitselemente oft viel anstrengender sind als langdauernde, und in allen solchen Fällen muß die auf Grund der technischen Umstellung erfolgende zunehmende Intensivierung der Produktion zu einer vermehrten Beanspruchung des Arbeiters führen.

Da bisher die Ermüdungsmessungen sich nicht recht bewährt haben, kommen wir hier zu der Frage, mit Hilfe welcher Methode wir am zu-

verlässigsten Rückschlüsse auf die Beanspruchung des Arbeiters durch einen Arbeitsvorgang tun können.

Auf Grund der von *Rubner* und *Zuntz* überkommenen Vorstellungen hatte man es als selbstverständlich angenommen, daß der — mit Hilfe von Respirationversuchen meßbare — Energieverbrauch dem Maß der körperlichen Beanspruchung entspräche. Hieraus ergibt sich das Ziel für die Arbeitsphysiologie, ähnlich wie der Ingenieur den Wirkungsgrad von Maschinen verbessert, auch den Wirkungsgrad der Maschine „Mensch“ zu erhöhen, d. h. den Energieverbrauch möglichst einzuschränken. Tatsächlich sind unter diesen Gesichtspunkten sowohl in Deutschland (Institut für Arbeitsphysiologie unter Leitung von *Atzler*) wie in England (Industrial Fatigue Research Board) breit angelegte Versuchsreihen zur systematischen Rationalisierung körperlicher Arbeit begonnen und in der Durchführung begriffen.

Gleichwohl ist aber ein direkter Beweis für die Berechtigung, den Kraftverbrauch des menschlichen Organismus als Maßstab körperlicher Anstrengung anzuwenden, bisher nicht erbracht worden. Es läßt sich sogar (*Bethe*, persönliche Mitteilung) ein beachtenswerter Einwand hiergegen machen: beim Sport werden absichtlich Anstrengungen vollführt, die mit einem sehr hohen Energieverbrauch einhergehen, und es läßt sich nicht einsehen, weshalb derselbe Prozeß (Vollführung anstrengender körperlicher Arbeit) beim Sport nützlich und bei industrieller Arbeit schädlich sein soll.

Jedoch scheint aus statistischen Untersuchungen von *Ascher*¹ hervorzugehen, daß wir tatsächlich berechtigt sind, in der Höhe des Energieverbrauches einen Maßstab für die Anstrengung der Arbeit und für die Zuträglichkeit eines Arbeitsvorganges zu sehen. *Ascher* verglich in eigenen Statistiken und in denen anderer Autoren die Höhe des Lohnes in den verschiedenen Altersstufen mit der Körperkraft (Hubkraft der Lenden nach den Untersuchungen von *Quetelet*²). Bei dem bestehenden Akkordlohnsystem drückt tatsächlich die Höhe des ganzen Lohnes in großer Annäherung die Leistungsfähigkeit aus. *Ascher* fand nun, daß der Leistungsabfall (Lohnabfall) mit zunehmendem Alter um so mehr mit dem Abfall der Hubkraft nach *Quetelet* übereinstimmt, je mehr die Arbeit den Charakter einer rein körperlichen Anstrengung trägt. Am meisten glich unter den untersuchten Beschäftigungsarten der Leistungsabfall der Grobdrahtzieher, die eine recht schwere körperliche Arbeit zu verrichten haben (nach *Bienkowski*³) nach Vollendung des 40. Lebensjahres der *Queteletschen* Kurve, während in der Feinmechanik (in der Fabrik von Hartmann & Braun) mit fast völlig ausgeschalteter grober Körperarbeit jenseits des 40. Jahres kein Leistungsabfall wahrnehmbar ist, d. h. hinsichtlich der Erwerbsfähigkeit Altersstufen bis zu 60 Jahren praktisch keine Rolle spielen.

Ascher verglich, wie erwähnt, den Leistungsabfall mit den *Queteletschen* Zahlen. Die *Queteletschen* Untersuchungen liegen aber nunmehr 80 Jahre zurück, und es erscheint möglich, daß die damalige körperliche Struktur der heutigen nicht mehr entspricht. Bei den neueren Untersuchungen von *Reijs*⁴ an 2000 Männern und Frauen (1921) wie von *Cathcart*, *Bedale*, *Blair*, *Macleod* und *Weatherhead*⁵ an 3000 Frauen (1927) ist sowohl die absolute Höhe der erreichten Spannung

¹ *Ascher*, Veröff. Med.verw. **19**, 529 (1925).

² *Quetelet*, *Physique sociale*. 1869.

³ *Bienkowski*, Untersuchungen über die Arbeitseignung. Leipzig 1910.

⁴ *Reijs*, *Pflügers Arch.* **191**, 234 (1921).

⁵ *Cathcart*, *Bedale*, *Blair*, *Macleod* und *Weatherhead*, Industrial Fatigue Research Board, Report **1927**, Nr 44.

höher wie auch das Absinken mit zunehmendem Alter langsamer als in den Untersuchungen von *Quelelet*. Es ist möglich, daß hierbei auch Rassenunterschiede mit-sprechen, denn *Quelelet* arbeitete an Belgiern, *Reijs* an Holländern und *Cathcart* und Mitarbeiter an Engländerinnen; jedoch läßt sich das Anwachsen der Körperkraft auch in Parallele setzen zu der erhöhten Widerstandsfähigkeit gegen Erkrankungen (*Ascher*), die wiederum ihre Ursache in der für England und Preußen nachgewiesenen und wahrscheinlich auch für andere Länder zutreffenden all-gemeinen Erhöhung des durchschnittlichen sozialen Niveaus seit Anfang und Mitte des vorigen Jahrhunderts zu haben scheint.

Hierfür sprechen auch Beobachtungen von *Eliassow*¹ in Deutschland wie von *Cathcart* und Mitarbeitern (l. c.) in England. *Cathcart* und Mitarbeiter konnten feststellen, daß die Hubkraft von gleichalterigen Studentinnen und Arbeiterinnen bei den Studentinnen höher lag; einen analogen Befund machte *Eliassow* bei dem Vergleich zwischen Gymnasiasten und Fortbildungsschülern (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1.

	Alter Jahre	Zahl	Länge cm	Gewicht kg	Druck kg	Zug kg
Gymnasiasten .	18	35	173	62,2	73	158
Fortbildungs- schüler. . . .	18	102	165	56,9	64	141

Die bessere Entwicklung der Studentinnen wie der Gymnasiasten, die sich nicht nur in der Körperkraft, sondern auch in den Körpermaßen und Gewicht ausdrückt, ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf das gehobene soziale Milieu zurückzuführen.

Da leider an deutschem Material keine derartigen Reihenuntersuchungen wie in Belgien, Holland oder England angestellt worden sind, erscheint es am richtigsten, die Ergebnisse von *Reijs* mit der Lohnstatistik zu vergleichen. Der Leistungsabfall der Grobdrahtzieher entspricht bei Zugrundelegung der *Reijs*-schen Werte durchaus dem Abnehmen der Körperkraft mit zunehmendem Alter, während, wie schon hervorgehoben, die Leistungsfähigkeit der Feinmechaniker durch das Alter nicht beeinflußt wird. Ein ähnliches Bild ergibt sich beim Vergleich der Leistungsfähigkeit der Weber in München-Gladbach (nach *Bernays*²), die ziemlich schwere körperliche Arbeit zu vollführen haben, und in der Auto-matenweberei³ (*Kölsch*), wo körperliche Arbeit fast völlig ausgeschaltet ist; auch hier zeigt sich bei ausgeschalteter körperlicher Arbeit kein Einfluß zunehmenden Alters. Nach Angaben der Reichsbahn-Ausbesserungswerkstätte in Frankfurt a. M. (*Ascher*, l. c.) besteht in übereinstimmender Weise ein um so früher gelegener Gipfelpunkt der Leistungsfähigkeit und rascherer Leistungsabfall, je schwerer die körperliche Arbeit ist, d. h. also am ungünstigsten bei den Zuschlägern, am günstigsten bei den Anstreichern.

Die Unterschiede in der Leistungsfähigkeit als Funktion des Alters bei den genannten industriellen Arbeitstypen sind derart auffallend⁴, daß hieraus mit Sicherheit hervorgeht, daß die Einschränkung grober

¹ *Eliassow*, Veröff. Med.verw. 19, 506 (1925).

² *Bernays*, Geschichte einer Baumwollspinnerei. Leipzig 1019.

³ *Kölsch*, Gewerbeärztliche Beurteilung usw. Arch. Hyg. 23 (1923).

⁴ In vielen amerikanischen Fabriken werden Leute über 35 Jahre überhaupt nicht mehr angestellt.

körperlicher Arbeit bei industrieller Beschäftigung eines der Hauptziele der Arbeitswissenschaft darstellen muß. Da aber die Höhe des Energieverbrauchs der Schwere einer körperlichen Arbeit konform verläuft, so gibt uns die Messung des Energieverbrauchs tatsächlich einen Anhaltspunkt zur Beurteilung industrieller Arbeitstypen.

Es bleibt noch kurz zu diskutieren, warum beim Sport andere Verhältnisse vorzuliegen scheinen als bei industrieller Arbeit. Statistiken über den Abfall der Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Alter bei den verschiedenen Sportarten existieren bisher leider noch nicht. *Herxheimer*¹ fand an 181 untersuchten Sportleuten das Durchschnittsalter (wahrscheinlich steht das Alter der Bestleistung damit in Übereinstimmung) bei 27 Marathonläufern mit 30 Jahren, bei 16 Skilangläufern, 17 Mehrkämpfern und 29 Schwerathleten mit 27 Jahren, 15 Schwimmern mit 24 Jahren, 19 Mittelstrecklern, 12 Langstrecklern und 30 Ruderern mit 24 Jahren, bei 16 Boxern mit 22 Jahren. Allgemeinen Erfahrungen gemäß liegt das Durchschnittsalter bei den ausgesprochenen Dauerleistungen Marathonlauf und Skilanglauf, sowie bei den Schwerathleten am höchsten; doch sind bei dem angeführten, allerdings nicht umfangreichen Material die Unterschiede nicht sehr groß. Eine Erhaltung der Höchstleistung jenseits des 40. bis 45. Jahres scheint aber für jede Sportart selten zu sein; während nun aber ein Sinken der sportlichen Leistungsfähigkeit für das Erwerbsleben gleichgültig ist, sind die Folgen des Sinkens der beruflichen Leistungsfähigkeit vernichtende.

Abgesehen hiervon ist der Typus der sportlichen Betätigung von der industriellen sehr verschieden; die sportliche stellt eine in selteneren Abständen geübte Durchbildung des ganzen Körpers dar, die sicherlich durchaus förderlich ist, während bei industrieller Tätigkeit eine mehr oder minder einseitige und andauernde Beanspruchung des Körpers stattfindet. Es scheint sehr leicht möglich, daß durch die andauernde und einseitige Tätigkeit ursprünglich ausgleichbare Änderungen der Gelenke sowie des Muskelzustandes schließlich mehr und mehr unausgleichbar werden und so zu einer verminderten Leistungsfähigkeit führen.

Auch pflegt die sportliche Übung von einem erfahrenen Trainer oder einem Arzt überwacht zu werden, während beim Arbeiter dies schon deshalb nicht möglich ist, weil die Kosten dieser Überwachung zu groß wären. Als Folge davon kann der Sporttreibende seine Tätigkeit abbrechen, sobald die Gefahr einer Schädigung besteht, während der Arbeiter gezwungen ist, ohne Rücksicht auf seinen körperlichen Zustand weiter zu arbeiten; und erfahrungsgemäß sind die Schädigungen industrieller Arbeit fast ausschließlich Spätschädigungen, die sich erst in einer Reihe von Jahren bemerkbar machen.

Die Höhe des Energieumsatzes bildet jedoch nicht das einzige Kriterium der Zuträglichkeit eines industriellen Arbeitsvorganges.

Aus den Versuchen von *Hill* und seinen Mitarbeitern² geht hervor, daß die Ermüdung bei körperlicher Arbeit in erster Linie durch die Anhäufung von Milchsäure bedingt ist. Das was wir als erhöhten Umsatz bei und nach körperlicher Arbeit messen, stellt aber lediglich die oxydative Beseitigung der Milchsäure dar. Eine Ermüdung, die bei industrieller Tätigkeit auf jeden Fall nach Möglichkeit ausgeschlossen werden muß, bedeutet demnach ein Überwiegen der Milchsäurebildung über die Milchsäurebeseitigung. Die Milchsäurebildung kann berechnet

¹ *Herxheimer*, Z. klin. Med. **96** (1923) und persönliche Mitteilung.

² *Hill*, *Long* und *Lupton*, Proc. roy. Soc. Med. **96/97** (1924/25).

werden aus der Gesamtheit der während und nach der Arbeit über den Ruhebedarf mehr umgesetzten Calorien. Nach den Angaben *Hills* entspricht 1 Liter Sauerstoffverbrauch der Beseitigung von 7 g Milchsäure; da — abgesehen von der geringen Menge von Milchsäure, die im Harn ausgeschieden wird und praktisch zu vernachlässigen ist — die gesamte gebildete Milchsäure auch oxydativ beseitigt wird, entspricht somit dem Verbrauch von 1 Liter Sauerstoff nicht nur die Beseitigung, sondern auch die Bildung von 7 g Milchsäure. Die Bildungsgeschwindigkeit der Milchsäure berechnet sich dann einfach, indem man die Gesamtmenge der gebildeten Milchsäure zur Arbeitsdauer in Beziehung setzt. Die Beseitigungsgeschwindigkeit der Milchsäure während und nach der Arbeit kann nach einem von *Simonson*¹ ausgearbeiteten Verfahren aus dem Verlauf des Sauerstoffverbrauches berechnet werden. Es ergab sich aus den Versuchen des Verf., daß der Bewegungsablauf bei der Arbeit den allergrößten Einfluß auf die Beseitigungsgeschwindigkeit hat, und es wird deshalb unsere Aufgabe sein, die Tätigkeit des Arbeiters derart zu gestalten, daß nicht nur der Gesamtverbrauch (= Milchsäurebildung) möglichst geringfügig ist, sondern daß auch der Bewegungsablauf hinsichtlich der Beseitigungsmöglichkeit der Milchsäure optimal verläuft.

In Übereinstimmung mit diesen Folgerungen stehen die Arbeiten von Forschern des Industrial Fatigue Research Board² mit ihrer starken Bewertung der freiwilligen Erholungspausen während der Arbeit, aus deren Größe sie geneigt und bei ihrer großen Erfahrung auch wohl berechtigt sind, unter gewissen psychologischen Voraussetzungen (Akkordlohn) ziemlich gute Schlüsse auf die anstrengende bzw. ermüdende Wirkung eines Arbeitsvorganges zu ziehen.

Als Erholungspausen wirken bei industrieller Arbeit nicht nur völlige Ruhepausen, sondern auch abwechselnde Beschäftigung verschiedener Muskelgruppen. Nach allgemeinen sportlichen Erfahrungen gelingt es oft, nach einseitiger Ermüdung einer Muskelgruppe durch Bewegung anderer die Erholung zu begünstigen. Die Öffnung neuer Gefäßgebiete und Muskelmassen für die Restitution beschleunigt die Beseitigung der ins Blut übergetretenen Milchsäure; demgegenüber spielt die vermehrte Milchsäurebildung durch die hinzutretenden Bewegungen eine untergeordnete Rolle. Bei der Rationalisierung industrieller Arbeit werden wir daher auch darauf zu achten haben, daß keine zu einseitige Tätigkeit ausgeübt wird, damit die Erholung unter optimalen Bedingungen erfolgen kann.

Für die Erreichbarkeit eines solchen Zieles sprechen die hier bei *Voigt* und *Häffner* gemachten Erfahrungen, wo auf Rat von *Ascher*³ ein Arbeitsvorgang, der bis dahin ausschließlich manuell erfolgte, auf Hand und Fuß verteilt wurde; hierdurch wurde neben einer Leistungssteigerung das subjektive Ermüdungsgefühl beseitigt.

Zur Untersuchung der Hauptfrage, ob die zunehmende technische Rationalisierung zu einer Gefährdung des Arbeiters führen kann, boten sich in der Fabrik von Bamberger, Leroi & Co. außerordentlich günstige

¹ *Simonson*, Pflügers Arch. 215, 716 (1927).

² *Vernon*, *Bedford* und *Warner*, Industrial Fatigue Research Board Nr 41 — *Wyatt*, Ebenda Nr 42.

³ *Ascher*, Zbl. Gewerbehyg. 14, 97 (1927).

Verhältnisse¹. Bei der in diesem Betrieb in Durchführung begriffenen technischen Rationalisierung wurde die Arbeit des Formens nebeneinander noch in 3 Arbeitstypen vorgenommen; als primitivste: das manuelle Stampfen des Sandes mit einem Stempel (I), als nächste Stufe: Pressen des Sandes durch Hebelübertragung (II), als letzte und technisch vollkommenste: Bedienung einer hydraulischen Presse (III). Die maximale Tagesleistung verhält sich dabei wie 120 : 180 : 320. Das Formen selbst erschien für die zu untersuchende Arbeitsleistung deshalb besonders dankbar, als es eine der häufigsten und wichtigsten industriellen Arbeitstypen darstellt.

Da bisher der Versuch einer nach arbeitsphysiologischen Gesichtspunkten vorgenommenen Rationalisierung im praktischen industriellen Betriebe noch nicht ausgeführt wurde, so mußte das Beispiel eines derartigen Versuches neben dem für den speziell untersuchten Arbeitsvorgang geltenden Interesse auch allgemeine Bedeutung gewinnen.

II. Versuchsanordnung. Methodik.

Die Versuche wurden in der Weise ausgeführt, daß nach Feststellung des Ruheverbrauchs (im Sitzen) bei den verschiedenen Arbeitstypen Atmung, Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausscheidung gemessen wurde.

Die Versuche wurden an Herrn Erwin Müller², einem seit vielen Jahren als Former tätigen Arbeiter, vorgenommen. Der Faktor der Übung konnte mithin bei den vorliegenden Untersuchungen keine Rolle spielen. Durch gemeinsame Untersuchung mit Herrn Medizinalrat Dr. *L. Ascher* überzeugten wir uns, daß die Versuchsperson vollkommen gesund war. Das Alter der Vp. betrug 40 Jahre, Größe 172,3 cm, Gewicht 66,75 kg, Blutdruck 105 mm Hg. Das Erholungsvermögen nach 30 Kniebeugen mit einer RK von 0,52 entsprach genau dem Mittelwert von 50 gesunden Versuchspersonen.

Es wäre gewiß von großem Vorteil, vergleichende Kontrolluntersuchungen auch an einem oder möglichst mehreren anderen Arbeitern vorzunehmen. Leider war dies aus verschiedenen Gründen nicht möglich; vor allem stellte sich kein anderer Arbeiter freiwillig zur Verfügung. Doch ist zu hoffen, daß das Beispiel und das Ergebnis der vorliegenden Versuche die Bereitwilligkeit von Arbeitern, ihre Person für derartige Versuche zur Verfügung zu stellen, erhöht. Aber auch wenn uns noch ein weiterer Arbeiter zur Verfügung gestanden hätte, wäre die

¹ Der Direktion von Bamberger, Leroi & Co. sind wir für ihr Entgegenkommen und die Ermöglichung unserer Versuche zu großem Dank verpflichtet; unseren ganz besonderen Dank möchten wir Herrn Oberingenieur *Stern* und Herrn Ingenieur *Falk* für ihr Interesse und ihre technischen Ratschläge bei der Durchführung unserer Versuche aussprechen.

² Herrn E. Müller möchten wir auch an dieser Stelle für die Freundlichkeit, seine Person für die Untersuchungen zur Verfügung zu stellen, unseren verbindlichen Dank aussprechen.

pekuniäre Sicherstellung der Untersuchungen schwierig oder jedenfalls schwieriger gewesen. Der Lohnausfall muß natürlich, um die Vp. nicht pekuniär zu schädigen, ersetzt und sogar, um auch einen gewissen Anreiz zu geben, etwas mehr als ausgeglichen werden; so betragen die allein auf die Vp. entfallenden Versuchskosten etwa 100 Mark. Auch muß berücksichtigt werden, daß die Betriebsleitung selbst durch den Ausfall eine Schädigung erfährt, die nicht wieder vergütet wurde und auch schwer wieder zu vergüten wäre; es durfte daher, besonders um auch spätere Untersuchungen am gleichen Werke (Gießerei) zu ermöglichen, die Versuchsausdehnung gewisse Grenzen nicht überschreiten. Jedenfalls soll später versucht werden, auch an anderen Vp. noch ergänzende Untersuchungsreihen anzustellen.

Ein Zweifel an der wesentlichen Gültigkeit der erhaltenen Resultate auch für andere als die untersuchte Vp. ist aber doch wohl nicht gerechtfertigt. Versuche des Verfassers in mehreren hundert Respirationsversuchen an über 50 Vpn. haben gezeigt, daß bei normalen Vpn. die individuellen Verschiedenheiten des Verlaufes des Sauerstoffverbrauches, der Kohlensäureausscheidung und der Ventilation bei einer körperlichen Standardarbeit relativ geringfügig sind. Besonders von Interesse sind hier vergleichende Untersuchungen von *Bedale*¹ und von *Cathcart* und Mitarbeitern², die das Tragen von Lasten an zwei konstitutionell sehr verschiedenen Vpn. untersuchten und gut übereinstimmende Werte erhielten. Da die Arbeiten in einer im allgemeinen in Deutschland schwer zugänglichen Zeitschrift erschienen sind, seien die diesbezüglichen Resultate hier auszugsweise wiedergegeben (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2.

Lasten (Lbs.)	Versuchsperson		Versuchs-anordnung
	A	B	
	Calorien bei Transport von 1 kg pro 1 m horizontal. Weg		
20	0,52	0,50	} Tragen vorn mit beiden Händen
30	0,52	0,51	
40	0,51	0,55	
50	0,50	0,53	
20	0,50	0,52	} Tragen auf der Hüfte
30	0,51	0,58	
40	0,59	0,63	
50	0,66	0,63	

Auch die Erfahrungen von *Atzler* und seinen Mitarbeitern³ sowie von bisher unveröffentlichten Versuchsreihen von *Hebestreit* und dem Verfasser sprechen für die Übertragbarkeit von Versuchsergebnissen an einer Vp. auf andere. Auch sei hervorgehoben, daß sich bei einzelnen Arbeitselementen zwischen den bei unserer Vp. erhaltenen Werten und denen anderer Untersucher eine gute Übereinstimmung ergab. Ferner sei noch erwähnt, daß die subjektiven Angaben der Vp. über die ermüdende Wirkung der Arbeit sich im wesentlichen mit den Ergebnissen unserer Versuche deckten, und daß die anderen Arbeiter in der Formerei die Angaben unserer Vp. durchaus bestätigten.

¹ *Bedale*, Industrial Fatigue Research Board, Rep. Nr 29.

² *Cathcart* und Mitarbeiter, l. c., S. 504.

³ *Atzler*, Jber. Physiol. 1928.

Die von den im Laboratorium abweichenden Versuchsbedingungen, vor allem der Maschinenlärm ließen es zunächst als fraglich erscheinen, ob sich ein exakter Ruhewert ermitteln ließ, und gerade die Ermittlung des Ruhewertes ist wichtig, da der Mehrverbrauch bei der Arbeit ja eine Differenzbestimmung gegenüber dem Ruhewert darstellt. Die Ruheumsatzwerte, die an den verschiedenen Tagen erhalten wurden — die Versuche wurden morgens nüchtern nach einer Ruhezeit von 30 Minuten angestellt —, stimmten aber sehr gut überein, und zwar nicht nur untereinander, sondern auch mit einem im Laboratorium angestellten Kontroll-Ruheversuch im Liegen unter durchaus exakten Bedingungen (s. Tab. 3).

Es folgt aus diesen Versuchen, daß der Umsatz des an die Maschinen-geräusche und die Vorgänge im Betriebe durchaus gewöhnten Arbeiters auch unter diesen Bedingungen genau bestimmt werden kann.

Tabelle 3.

Datum	Körperstellung	Ort der Untersuchung	cem O ₂ pro Min.
1928			
19. III.	sitzend	Fabrik	266
20. III.	„	„	271
21. III.	„	„	270
22. III.	„	„	281
23. III.	„	„	258
24. III.	„	„	269
26. III.	„	„	274
30. III.	„	„	267
2. IV.	„	„	269
3. IV.	„	„	270
4. IV.	liegend	Laboratorium	261

Zur Beurteilung und zur Durchführung von Respirationsversuchen ist die Zusammensetzung der Luft, besonders der Gehalt an Kohlensäure und Sauerstoff von Wichtigkeit. Gerade in Gießereibetrieben besteht die Gefahr, daß die Luft einen zu niedrigen Sauerstoffgehalt aufweist. Durch mehrfache Untersuchungen überzeugten wir uns, daß eine derartige Gefahr bei Bamberger Leroi & Co. nicht besteht; der Gehalt der Luft an Sauerstoff war nur in geringem Grade niedriger als wie er gewöhnlich im Zimmer gefunden wird (20,65%), der Gehalt an Kohlensäure nur um ein geringes höher (0,07%). Dies ist auf die sehr vorzügliche Ventilation in dem betreffenden Betriebe zurückzuführen; innerhalb von 4 Minuten wird die gesamte Luft im Arbeitsraum einmal erneuert. (Diese reichliche Ventilation wurde ursprünglich eingeführt wegen des Vorkommens von Gießfieber — Zinkvergiftung —, welches in dem Betriebe jetzt nur noch ganz verschwindend beobachtet wird).

Es wurde der Kraftverbrauch des Arbeiters nach dem von Zuntz seinerzeit angegebenen Verfahren durch Multiplikation des Sauerstoff-

mehrverbrauchs bei Arbeit mit dem calorischen Wert des Sauerstoffs in Calorien berechnet.

Aus Gründen vereinfachter Berechnung wurde der calorische Wert des Sauerstoffes zu 5,0 angenommen, was einem spezifischen Arbeitsrespirationsquotienten von 0,95 entspräche. Tatsächlich aber war in unseren Versuchen der durchschnittliche spezifische Arbeitsrespirationsquotient 0,8 und der calorische Wert des Sauerstoffes demgemäß 4,87. Unsere Werte sind deshalb *absolut* genommen etwa 2% höher, als wenn sie auf Grund des aktuellen spezifischen Arbeitsrespirationsquotienten berechnet wären, also innerhalb der Fehlergrenzen der Methodik. Die *relative* Vergleichbarkeit der Werte, auf die es uns vor allem oder sogar ausschließlich ankommt, wird hierdurch natürlich nicht berührt.

Die durch Multiplikation des O₂-Mehrverbrauchs bei Arbeit gegenüber der Ruhe enthaltenen Calorienwerte entsprechen also der für die technische Arbeit entfallenden Mehrproduktion an Calorien. Die Versuche wurden derart angestellt, daß nach Abnahme eines Ruheversuchs im Sitzen, der nach einer Ruhepause von 30 Minuten erfolgte, die Arbeitsleistung im Respirationsversuch gemessen wurde und unmittelbar anschließend daran die Erholung (ebenfalls im Sitzen), die dann in 2 Perioden (davon die erste zu 3, die zweite zu 6—8 Minuten) zur Berechnung des Erholungsvermögens unterteilt wurde. Da die Versuche stets einen Arbeitsausfall für den Arbeiter und das Werk bedeuten, wurde versucht, die Untersuchungsreihe in möglichst kurzer Zeit durchzuführen. Es gelang auch, die vorliegenden Untersuchungen in 14 Arbeitstagen an 37 Arbeitsversuchen zu beenden (natürlich abgesehen von der viel zeitraubenderen Vorbereitung der Versuche); an jedem der Arbeitstage wurden meist 3 Arbeitsversuche abgenommen. Die Gesamtversuchsdauer betrug mit den eingeschalteten Ruhepausen etwa 2 Stunden. Der nächstfolgende Versuch wurde stets, um eine Nachwirkung des vorhergehenden auszuschalten, erst nach einer dazwischen liegenden Ruhepause von etwa 20—25 Minuten angestellt. Es waren täglich 10—11 Luftanalysen der Respirationsluft, die im Analysenapparat nach *Haldane* vorgenommen wurden, notwendig.

Die Respirationsversuche wurden mit dem transportablen Respirationsapparat nach *Simonson*¹ vorgenommen.

Da das Gewicht des transportablen Teilungsstückes (siehe Abb. 2) nur 1,4 kg (in einer neuen Ausführung der Apparatur noch um ein Drittel des Gewichtes reduziert) beträgt, die sich durch das Schild noch auf den ganzen Rücken verteilen, ist sowohl die Behinderung durch das Gewicht als auch die räumliche Behinderung des Arbeiters durch die Apparatur denkbar gering. Es sei darauf hingewiesen, daß mit einem anderen der bisher konstruierten Respirationsapparate eine derartige Untersuchung nicht möglich gewesen wäre; auch die Anwendung des Systems nach *Douglas-Haldane* wäre infolge der räumlichen Behinderung durch die aufgestapelten Kästen (siehe *K*, Abb. 1 und 2) ausgeschlossen gewesen.

¹ Z. Arbeitsphysiol. 1, 224 (1928).

Die Trennung der Einatmungs- und der Ausatemluft geschah mit Hilfe eines von *Brough* angegebenen Ventils; die von Herrn Oberingenieur *Dabis* vorgeschlagene Befestigung des Ventils am Kopf, die aus den Abb. 2 und 3 ersichtlich ist, erwies sich als sehr zweckmäßig; es wird hier der federnde Rahmen, der durch eine Gabel das Ventil trägt, durch das Gewicht des Ventils selbst leicht federnd an den Kopf angepreßt. Bei der Arbeit des Formens, die häufige und oft rasche Bewegungen des Kopfes (z. B. beim Schütteln des Siebes) bedingt, versagte diese Art der Befestigung niemals. Auch blieb der Blick in jeder Richtung vollkommen frei, was bei den bisher üblichen Arten der Ventilbefestigung nicht der Fall ist.

Daß durch die Apparatur die Arbeit des Formens in keiner Weise behindert wurde, folgt nicht nur aus den subjektiven Angaben des Arbeiters, sondern vor allem auch daraus, daß bei Ableistung der Arbeit mit dem Respirationsapparat nicht nur keine Verminderung, sondern im Verhältnis zur Tagesleistung sogar eine Zunahme der Arbeitsleistung beobachtet wurde. Die Zunahme beruht darauf, daß für die Versuche alles Material bereitgestellt war, während bei der Tagesarbeit bisweilen Pausen in der Fertigstellung der Kästen eintreten, bedingt durch Materialzufuhr (z. B. Sand, leere Rahmen usw.).

Die Aufstellung der Apparatur geschah derart, daß die Gasuhr auf einem der Tische *T* (Abb. 1) oder auf eine Kiste gestellt wurde. Der Gummischlauch (Verbindungsstück zwischen Teilungsstück und Gasuhr) wurde über Drahtschlingen zum Arbeitsstand gelegt. Die durch den Arbeitsvorgang notwendige Bewegungsbreite des Arbeiters umfaßt etwa 3—4 m, die durch den Respirationsapparat (l. c.) auch ohne weiteres ermöglicht werden konnte.

Da es nicht möglich war, die Gasanalysen in der Fabrik von Bamberger, Leroi & Co. vorzunehmen, wurde zum Transport der Luftproben ein transportabler Rezipient¹ konstruiert.

III. Beschreibung des Arbeitsvorganges.

Als „Formen“ wird der Arbeitsvorgang bezeichnet, durch welchen dem Sand die Negativform gegeben wird; in die das flüssige Metall in der Gießerei eingefüllt wird. Dies geschieht dadurch, daß ein Rahmen auf eine positive Grundform gesetzt und mit Formsand gefüllt wird; durch Festpressen des Sandes kommt dann die Negativform zustande. Die technische Rationalisierung zielte nun darauf hin, daß das Festpressen des Sandes in immer vollkommenerer Weise geschah. Wie bereits erwähnt, wurde der Sand bei der primitivsten Arbeitsweise (I) manuell mit einem Stempel festgestampft, beim Arbeitsvorgang (II) durch Hebelübertragung gepreßt und endlich beim Arbeitsvorgang (III) durch Bedienung einer hydraulischen Presse. Jeder der 3 Arbeitsvorgänge soll genau beschrieben werden, da zum Verständnis der vorliegenden Arbeit die Kenntnis der Technik des Formens notwendig erscheint.

¹ *Simonson*, l. c., S. 511.

In der Fabrik von Bamberger, Leroi & Co. (siehe Abb. 1) sind Formerei und Gießerei durch ein laufendes Band verbunden, dessen Richtung durch einen Pfeil markiert ist. Die geformten Kästen werden auf das laufende Band gesetzt und gelangen in die Gießerei. Es bestehen 6 Arbeitsstände (I—VI). Der Stand des Arbeiters beim Formen ist durch ein Kreuz *a* gekennzeichnet. Die Arbeitsstände I—IV sind zum Formen durch Stampfen mit der Hand sowie durch Hebelübertragung eingerichtet, bei den Arbeitsständen V und VI erfolgt das Pressen des Sandes durch die hydraulische Presse. Die Pfeile bezeichnen die Richtung, in der die hydraulische Presse auf den Rahmen geschwenkt wird. Die Lage des Form-

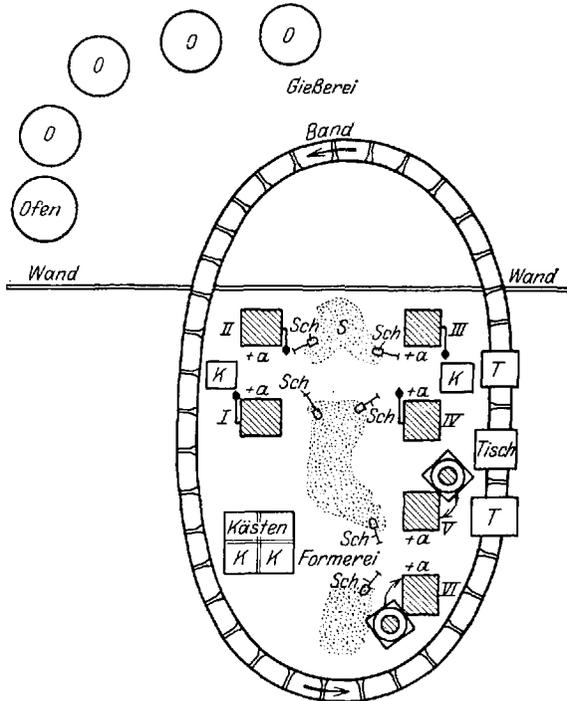


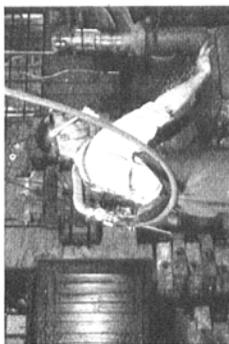
Abb. 1. Übersichtsbild der Formerei in der Fabrik von Bamberger, Leroi & Co.

sandes ist durch *S* bezeichnet, die Schaufeln durch *Sch*. *K* bezeichnet die Lage der aufgestapelten leeren Kästen, die von dort zum Arbeitsstand getragen werden. Die Höhe der aufgestapelten Kästen wechselt naturgemäß im Laufe des Arbeitstages, gewöhnlich beträgt sie 150 cm (die aufgestapelten Kästen sind im Hintergrund der Abb. 2 und 3 sichtbar). Die auf das Band gestellten Kästen laufen unter den Tischen *T* hinweg. An den Tischen *T* werden Kerne in die Negativformen hineingelegt.

Die leeren Kästen waren bei allen Arbeitstypen die gleichen, dagegen wechselte bisweilen die Grundform, die auf dem Arbeitsplatz montiert wird, und auf die die leeren Kästen aufgesetzt werden. Die wechselnde Grundform macht aber eine verschiedene Bearbeitung des Sandes erforderlich. Deshalb sind auch die Versuche nicht alle miteinander ohne weiteres vergleichbar, wohl aber lassen sich die erhaltenen Abweichungen durchaus auf die etwas veränderten Arbeits-



c



f



i



b



e



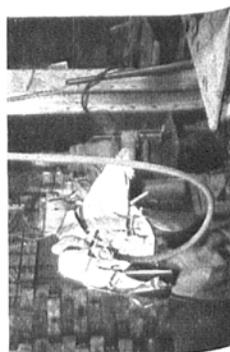
h



a



d



g

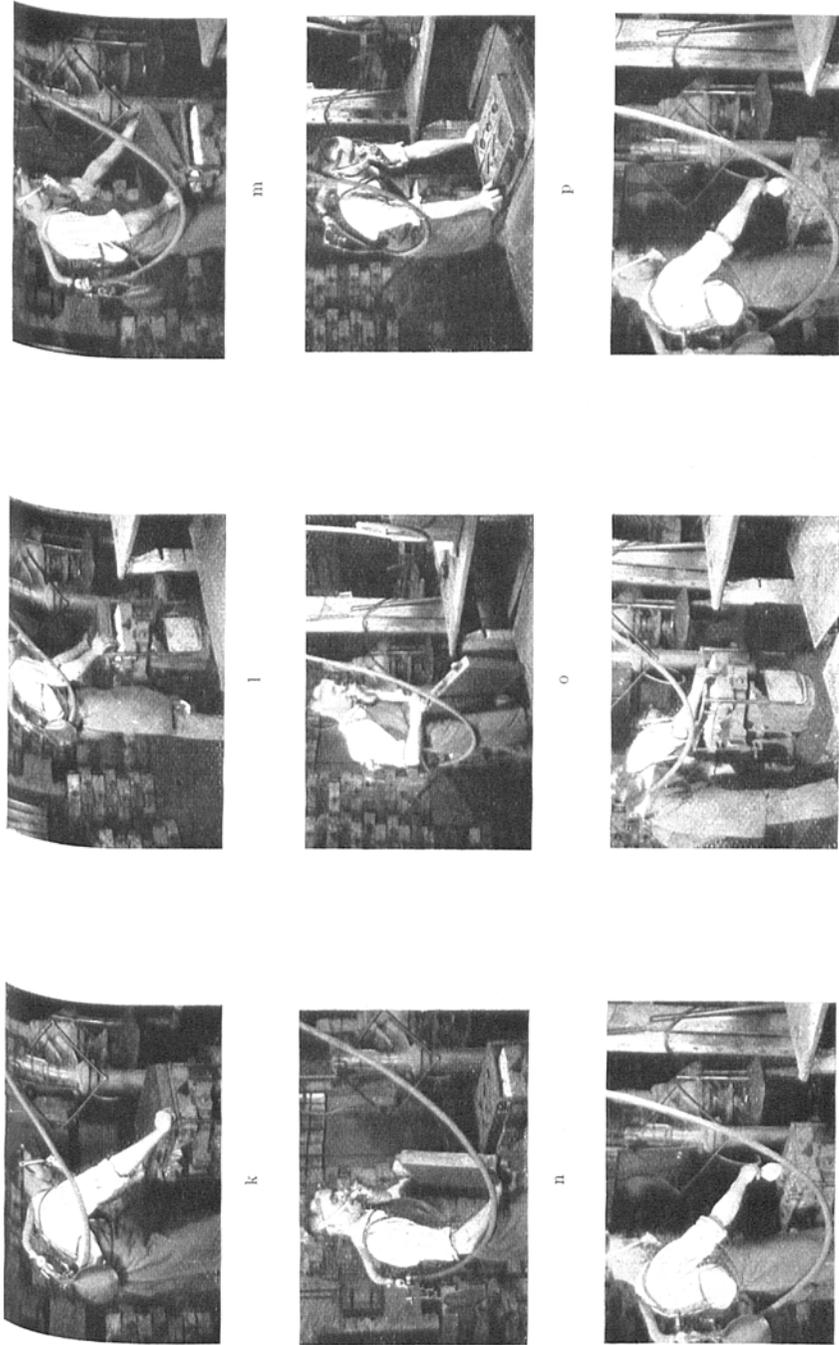


Abb. 2. Die einzelnen Arbeitselemente des Formens, Arbeitstyp III.

bedingungen zurückführen. Andererseits war eine gewisse Variation der Arbeitsbedingungen durchaus erwünscht, weil daraus ersehen werden konnte, wieweit die erhaltenen Resultate zu verallgemeinern sind.

Das Formen selbst besteht aus einer Reihe von einzelnen Arbeitselementen, die im folgenden beschrieben und bildlich dargestellt werden sollen. Da aus technischen Gründen die meisten Arbeitsvorgänge am Arbeitsstand V photographiert wurden, soll mit der Beschreibung des Arbeitsvorganges III — Bedienung der hydraulischen Presse — angefangen werden. Der Arbeitsvorgang III setzt sich aus folgenden Arbeitselementen zusammen:

Arbeitsvorgang III.

1. Transport der leeren Kästen (Rahmen) vom Stapelplatz *K* zum Arbeitsstand. Weglänge etwa 2 m. Gewicht des leeren Rahmens 10 kg (Abb. 2a).
2. Hinsetzen des Rahmens auf den Arbeitsstand (Abb. 2b).
3. Herabnehmen eines kleinen Aufsatzrahmens vom Arbeitsgerät (Abb. 2c).
4. Aufsetzen desselben auf den Rahmen (Abb. 2d).
5. Schaufeln; 4 Schaufelhübe, Hubhöhe 80 cm, Gewicht der leeren Schaufel 2,2 kg, Gewicht der vollen Schaufel 8 kg (Abb. 2e).
6. Verteilen des Sandes unter Festdrücken desselben am Rand (Abb. 2f).
7. Herumschwenken der hydraulischen Presse (Abb. 2g).
8. Bedienung derselben (Abb. 2h).
9. Fortschwenken der hydraulischen Presse (Abb. 2i).
10. Abnehmen des kleinen Rahmens und Anhängen desselben an das Arbeitsgerät.
11. Abstreichen des überstehenden Sandes (Abb. 2k).
12. Hochhebeln des Rahmens, Bedienung eines Hebels durch den linken Fuß (Abb. 2l).
13. Abnehmen des Kastens (Abb. 2m).
14. Transport des Kastens zum Band, Transportweg etwa 1 m; Gewicht des Kastens etwa 23,5 kg (Abb. 2n).
15. Aufsetzen des Kastens auf das Band unter Drehung um 180° (Abb. 2o u. p).
16. Reinigen des Arbeitsstandes von verstreutem Sand durch Abblasen mittels Druckluft (Abb. 2q).
17. Bedienung eines Hebels mit der linken Hand, zur Senkung des zum Abnehmen des Kastens hochgehobenen Aufsatzes (Abb. 2r).
18. Einpudern der Grundform (Abb. 2s).

Arbeitsvorgang II.

- 1—4 ist identisch mit dem vorhergehenden Arbeitsprozeß.
5. Schaufeln auf ein Sieb, 1 Schaufelhub.
6. Schütteln des Siebes über dem Arbeitsstand (Abb. 3a).
7. Beiseitelegen des Siebes.
8. Vollschaufeln des Kastens, 3 Schaufelhübe.
9. Verteilen des Sandes.
10. Herumkippen des Preßdeckels (Abb. 3b).
11. Bedienung der Hebelpresse, die die Grundform und den Rahmen gegen den Preßdeckel schleudert; 3—4 Züge (Abb. 3c und d).
12. Zurückstellen des Hebels. Zurückkippen des Preßdeckels.
13. Schlagen des Sandes mit vierkantigem Eisenstab; etwa 14 Schläge (Abb. 3e).
14. Abnehmen des Rahmens.
15. Abstreichen.



a



b



c



d



e



f



g



h

Abb. 8. Die einzelnen Arbeitselemente des Formens (Arbeitstyp II und I).

16. Hochhebeln des Kastens durch Hebelübertragung (linke Hand), während die rechte Hand Erschütterungen (Rütteln) vollführt, um ein Abreißen des Sandes beim Abnehmen der Form zu verhüten (Abb. 3f und g).

17. Von hier ab bis zum Schluß identisch mit dem vorher beschriebenen Arbeitsvorgang III ab „13“, nur daß der in „16“ hochgehobene Aufsatz durch einfaches Zurückstellen des Hebels herabgesenkt wird.

Arbeitsvorgang I.

1—9 ist identisch mit Arbeitsvorgang II.

10. Stampfen mit schmalem flachen Stempel am Rande (Abb. 3h).

11. Stampfen mit rundem Stempel.

12. Abnehmen des Rahmens.

13. Abstreichen.

14. Von hier aus der gleiche Arbeitsvorgang wie bei Arbeitstyp II ab „16“.

Ein derartig fertiggestellter Kasten bildet die Hälfte eines ganzen Arbeitsstückes. Da aber die Fertigstellung der anderen Hälfte identisch ist, bildet ein halber Kasten die Arbeitseinheit, auf die in allen Versuchen Bezug genommen wird. Der Arbeitsvorgang in der Fabrik ist so geregelt, daß gleichzeitig an zwei Arbeitsständen (z. B. Arbeitsstand II und III) je eine Hälfte fertiggestellt wird.

IV. Verhalten des Energieverbrauchs.

1. Beim Formen.

Der Versuchsplan war derart gedacht, daß zuerst die Arbeitsformen in der Weise, wie sie in der Fabrik vor sich gingen, untersucht werden sollten, später sollte dann zur Ergänzung an die Analysen der einzelnen

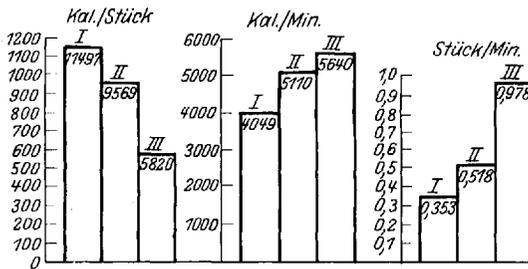


Abb. 4. Energieverbrauch beim Formen (Arbeitstyp I—III; 19. III. 1928).

Arbeits-elemente gegangen werden. Abb. 4 stellt das Ergebnis der ersten 3 am 19. III. ausgeführten Versuche dar. Es wurde hier der Calorienverbrauch pro Arbeitsstück (= $\frac{1}{2}$ Kasten) und pro Arbeitsminute bei den 3 verschiedenen Arbeitsformen I, II und III verglichen. Im arbeits-

physiologischen Sinne kommt es hier vor allem auf den Calorienverbrauch pro Minute an, da sich nur hieraus die Beanspruchung des Arbeiters ergibt. Als wesentlichstes Ergebnis folgt aus den in Abb. 4 dargestellten Versuchen, daß mit dem Fortschritt der technischen Rationalisierung zwar der Calorienverbrauch pro Arbeitsstück absinkt, aber der Calorienverbrauch pro Minute ansteigt. Der Unterschied zwischen Arbeitstyp II und III ist dabei wesentlich geringer, als der zwischen den Arbeitstypen I und II. Durch diese Versuche ist bereits der sehr wichtige Nachweis er-

folgt, daß durch die zunehmende Intensivierung des Arbeitsprozesses bei technischer Rationalisierung der Gefahrenpunkt für den Arbeiter (Mehrbeanspruchung pro Zeiteinheit) überschritten werden kann. Daß es lediglich die Intensivierung des Arbeitsprozesses ist, die bei zunehmender technischer Rationalisierung die Mehrbeanspruchung des Arbeiters bedingt, folgt daraus, daß an sich der technische Rationalisierungsprozeß mit einem sehr erheblichen Absinken des Calorienverbrauches pro Arbeitseinheit ($\frac{1}{2}$ Kasten) verbunden ist. Bei dem verhältnismäßig geringen Unterschied zwischen dem Calorienverbrauch pro Minute bei Arbeitsvorgang II und III ist es lediglich eine Frage geringer Intensitätsverschiebung des Arbeitsprozesses, daß der Verbrauch von Arbeitsvorgang II gleich oder sogar größer als von Arbeitsvorgang III wird. Hierbei ist sehr bedeutungsvoll, wie sich das Verhältnis der Produktions-

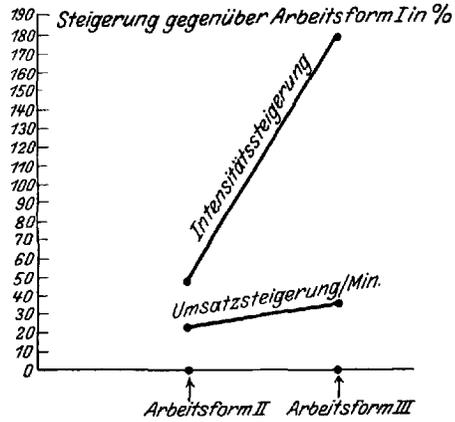


Abb. 5. Vergleich der Produktions- und der Umsatzsteigerung von Arbeitstyp II und III gegenüber Arbeitstyp I in Prozenten von Arbeitstyp I.

steigerung zur Mehrbeanspruchung des Arbeiters verhält. In Abb. 5 ist verglichen die Steigerung der Produktion von Arbeitsvorgang II und III gegenüber I und die Steigerung des Calorienverbrauches pro Minute von Arbeitsvorgang II und III gegenüber I. Es ergibt sich, daß im Verhältnis zu der außerordentlichen Steigerung der Arbeitsintensität (Produktion) durch Einführung der hydraulischen Presse (Arbeitsvorgang III) die Unterschiede in der Mehrbeanspruchung des Arbeiters zwischen Arbeitsprozeß II und III verhältnismäßig geringfügig sind. Unter diesem Gesichtspunkte erscheint der Arbeitsvorgang II, wie er in der Fabrik am häufigsten angewandt wird (4 Arbeitsstände), als besonders ungünstig.

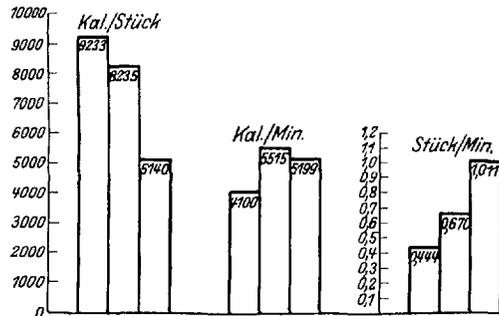


Abb. 6. (20. III. 1928.) Verhalten des Energieverbrauches bei Verschiebung der Produktionsintensität (Stück pro Min.) gegenüber dem Versuch am 19. III. (Abb. 4).

Die Unterschiede im Calorienverbrauch pro Minute zwischen Arbeitsvorgang II und III sind so geringfügig daß es nur einer geringen Ände-

zung der Produktionsintensität oder des Ablaufes des Arbeitsprozesses bedarf, um die Unterschiede zu verwischen oder umzukehren. Als Beispiel hierfür diene der Vergleich der 3 verschiedenen Arbeitstypen am 20. III. (s. Abb. 6). Die Grundformen waren hier andere, der Arbeitsprozeß verlief allgemein schneller als bei den 3 ersten Versuchen (Abb. 4), da hier das Rütteln fortfiel. Auch bei diesem Versuch ist, in genauer Übereinstimmung mit den in Abb. 4 wiedergegebenen Verhältnissen der Verbrauch pro Stück mit der fortschreitenden technischen Rationalisierung herabgesetzt. Der Verbrauch pro Stück liegt allgemein etwas niedriger als in Abb. 4, weil hier ja eine Reihe kleiner Nebenbewegungen fortfallen; dagegen ist hier der Verbrauch pro Minute bei Arbeitstyp II etwas höher als bei III, wenn auch die Unterschiede nur gering sind. Die Produktionssteigerung gegenüber den in Abb. 4 dargestellten Versuchen beträgt für Arbeitstyp II 29,3%, für III nur 13,6%; es steht also die beobachtete Verschiebung des Verbrauches pro Minute durchaus in Übereinstimmung mit der gegenüber der ersten Versuchsreihe gefundenen Verschiebung der Produktionsintensität.

Da der Mehrverbrauch pro Minute beim Arbeitsvorgang II und III gegenüber I nur auf der Produktionssteigerung beruht, läßt sich leicht berechnen, wie hoch bei den 3 verschiedenen Arbeitsformen die Produktionsintensität sein muß, damit der Verbrauch pro Minute bei allen 3 Arbeitstypen ungefähr gleich hoch ist. Wenn wir vom Arbeitsvorgang I am 19. III ausgehen (Abb. 4), so ergibt sich dabei für Arbeitsvorgang II eine Produktion von 0,423 Stück pro Minute, für Arbeitsvorgang III eine Produktion von 0,696 pro Minute. Um zu verhüten, daß die technische Rationalisierung zu einer Schädigung des Arbeiters führt, wäre demnach — als einfachster Weg — entsprechend der berechneten Proportion dafür zu sorgen, daß beim Arbeitsvorgang II die Produktion nicht, wie tatsächlich beobachtet, 0,518 pro Minute, sondern nur 0,423 Stück pro Minute und beim Arbeitsvorgang III nicht 0,978 Stück pro Minute, sondern nur 0,696 Stück pro Minute beträgt. Eine willkürliche Hemmung der Produktionsintensität stößt aber auf technische, wirtschaftliche und psychologische Schwierigkeiten, so daß dieser Weg nicht gangbar ist. Doch scheint es wichtig, sich von der Richtigkeit dieser Folgerung, d. h. von dem Angleich des Calorienverbrauchs pro Minute bei Herabsetzung der Produktionsintensität, auch experimentell zu überzeugen. Dies wurde ermöglicht, da am 21. III. Grundformen auflagen, deren komplizierte Form es mit sich brachte, daß vor dem Herausheben des Kastens aus dem Arbeitsstand V (Arbeitsvorgang III) das Rütteln in viel höherem Maße notwendig war, um ein Verreißen des Sandes beim Abheben zu verhüten. Die rüttelnden Bewegungen, an sich von geringerer Intensität und darum auch geringem Energieverbrauch, bedeuten Herabsetzung der Produktionsintensität ohne willkürliche Bremsung. Gerade

auf Ausschaltung dieses Faktors kam es ja nach dem vorher Gesagten auch mit an.

Die Versuchsergebnisse sind in Abb. 7 dargestellt. Der absolute Verbrauch pro Arbeitsstück ist hier größer als in den bei den anderen Versuchsreihen; bei Arbeitsvorgang III leicht zu erklären, da ja die Bearbeitung des einzelnen Stückes an sich länger dauert. Auch hier nimmt der Calorienaufwand pro Arbeitsstück ($\frac{1}{2}$ Kasten) von Arbeitsvorgang I bis III ab. Die Produktionsintensität ist bei Arbeitstyp I und II gegenüber der Versuchsreihe I am 19. III. (Abb. 4) unverändert, dagegen bei III herabgesetzt, sogar noch mehr als es der berechneten Proportion entspricht (statt 0,696 pro Minute nur 0,588). Wir werden deshalb zu

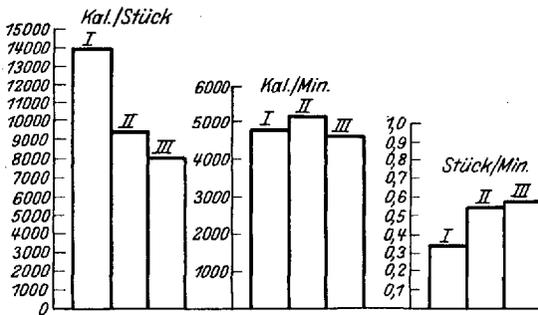


Abb. 7 (21. III. 1928). Verhalten des Energieverbrauchs bei Herabsetzung der Produktionsintensität gegenüber dem Versuch am 19. III. (Abb. 4).

erwarten haben, daß hier der Verbrauch pro Minute beim Arbeitsvorgang III am geringsten, bei Arbeitsvorgang II am höchsten ist, was auch vollkommen den im Versuch tatsächlich gefundenen Verhältnissen entspricht.

2. Beim Formen nach vorangegangener vierständiger Arbeitszeit.

Für die Beurteilung des Arbeitsvorganges ist auch die Frage zu berücksichtigen, ob sich die gefundenen Verhältnisse bei längerer Dauer der Arbeit verschieben. Die angestellten Versuche erstreckten sich ja alle nur auf eine Arbeitsdauer von etwa 15 Minuten, und es ist natürlich wohl denkbar, daß die bei länger fortgesetzter Arbeit eintretende Ermüdung ein anderes Bild ergibt. Es wurden deshalb an 3 Tagen (27. bis 29. III.) die Versuche nach 4stündiger Arbeitszeit, also nach dem Pensum einer halben Tagesarbeit abgenommen. Es wurde hier der Arbeitsversuch unmittelbar an die Arbeit angeschlossen; der Ruheversuch erfolgte dann nach beendeter Erholung, d. h. dann, wenn sich die Atmung nicht mehr änderte. Obwohl der Vergleich von an verschiedenen Tagen vorgenommenen Versuchen nicht so exakt wie bei einer am gleichen Tage

angestellten Versuchsreihe ist, zeigt der Vergleich doch eine recht genaue und befriedigende Übereinstimmung. Die bearbeiteten Grundformen waren an den 3 Tagen natürlich die gleichen.

Abb. 8 zeigt den Vergleich der 3 Arbeitsformen um 11 Uhr. Die Stückzahl pro Minute ist allgemein etwas höher als in den anderen Versuchen; dies liegt in der Art der bearbeiteten Grundformen begründet. Der Verbrauch pro Stück ist bei Arbeitstyp II und III annähernd so hoch wie in der Versuchsreihe vom 19. III. (Abb. 4), bei Arbeitsvorgang I dagegen etwas niedriger; vielleicht beruht der letztere Befund auf einem etwas zu hoch gestimmten Ruhewert. Aber auch hier ist das Absinken des Verbrauches pro Stück von Arbeitsvorgang II und III

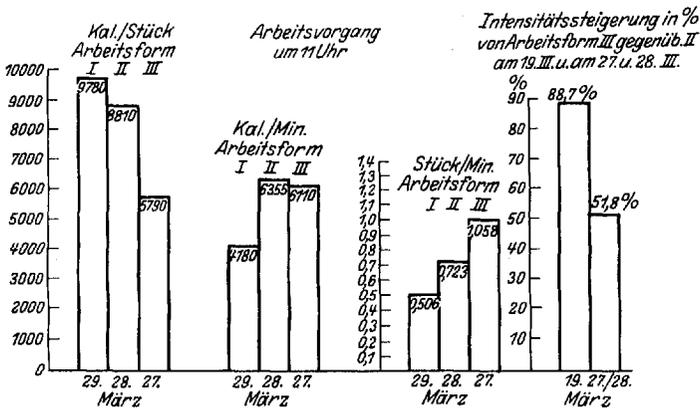


Abb. 8. Verhalten des Energieverbrauchs beim Formen nach vierstündiger Arbeitszeit (um 11 Uhr).

gegenüber I unverkennbar und sehr ähnlich wie in den Versuchsreihen am 19. und 20. III. (Abb. 4 und 6). Die Erhöhung des Calorienverbrauchs pro Minute von Arbeitsvorgang II und III gegenüber I ist annähernd gleich hoch und entspricht unter Berücksichtigung der Produktionsintensität genau dem Befund der übrigen, im vorstehenden diskutierten Versuche. Es ergibt sich also, daß auch nach 4stündiger Arbeitszeit die Versuchsergebnisse vollständig identisch mit den am Morgen unter exakten Bedingungen angestellten Versuchen sind; *es erscheint also durchaus gerechtfertigt, aus dem Energieverbrauch bei kurzfristigen Versuchen auch auf den Energieverbrauch des ganzen Arbeitsvorganges zu schließen.*

3. Verteilung des Energieverbrauchs auf die einzelnen Arbeitselemente des Formens.

Durch die oben beschriebenen Versuche war nachgewiesen, daß bei der fortschreitenden technischen Rationalisierung durch die zunehmende

Intensivierung des Arbeitsprozesses der Arbeiter mehr beansprucht werden kann. Es war unser Bestreben, den Arbeitsvorgang so zu gestalten, daß trotz der technisch notwendigen Rationalisierung eine Einsparung des Calorienverbrauches pro Minute erfolgt, ohne daß sich eine Verminderung der Produktionsintensität ergibt. Dies ist aber nur dann möglich, wenn die einzelnen, oder jedenfalls die wichtigsten einzelnen Arbeitselemente, aus denen sich der ganze Arbeitsvorgang zusammensetzt, einer Analyse unterzogen werden; es kann dann versucht werden, die als besonders anstrengend gefundenen Bedingungen entweder umzugestalten oder völlig zu beseitigen. Es wurden daher die wichtigsten einzelnen Arbeitselemente einer Untersuchung unterzogen. Die Bestimmung des Energieverbrauchs bei einem einzelnen Arbeitselement kann dabei direkt oder indirekt erfolgen. Bei der direkten Bestimmung wird das einzelne Arbeitselement einer isolierten Untersuchung unterzogen, d. h. es wird genügend oft für sich allein wiederholt, um eine gut meßbare Veränderung des Stoffwechsels auszulösen; bei der indirekten Bestimmung wird der ganze Arbeitsprozeß (Formen eines halben Kastens) einmal in der gewöhnlichen Weise, das zweitemal ohne das betreffende Arbeitselement untersucht; die Differenz muß dann dem fortgelassenen Arbeitselement entsprechen. Die direkte Methode ist zweifellos die genauere, da bei der indirekten der Calorienverbrauch aus einer Differenzbestimmung von 2 getrennten Arbeitsversuchen erhalten wird, und selbst geringe Änderungen im Totalverbrauch können eine beträchtliche Verschiebung der Differenz zur Folge haben. Bei den für uns wichtigsten Arbeitselementen des Schaufeln und Abstreichens wurden bei den vorliegenden Untersuchungen sowohl die direkten als auch die indirekten Bestimmungen zur Kontrolle vorgenommen. Bei den übrigen Arbeitselementen kam eine indirekte Bestimmung nicht in Frage, da der Differenzbetrag hinsichtlich der Fehlergrenze der Methodik zu klein gewesen wäre. Eine etwaige Beseitigung von Arbeitselementen hätte sich dann vor allem auf diejenigen zu erstrecken, die einen besonders hohen Energieverbrauch bedingen bzw. unter ungünstigen Erholungsbedingungen verlaufen, und von diesen — aus technischen Gründen — vor allem diejenigen, die bei allen 3 Arbeitsformen gemeinsam vorkommen, die also an sich für die betreffenden Arbeitsformen nicht charakteristisch sind und darum zusammenfassend als „Nebenarbeiten“ bezeichnet werden. Als solche ergeben sich Transport der leeren und vollen Kästen, das Abstreichen und das Schaufeln.

a) *Stampfen (Arbeitsvorgang I).*

Die Technik des Stampfens ist aus Abb. 3h ersichtlich. Es wird zuerst mit einem flachen Stempel der Sand am Rande der Form, dann mit einem breiteren der übrige Teil festgestampft.

Die Versuchsanordnung wurde derart getroffen, daß die Arbeit des Stampfens 5 Minuten lang in gleicher Weise wie gewöhnlich ausgeführt wurde, wobei wie

üblich Sauerstoffverbrauch, Kohlensäureausscheidung und Ventilation während und nach der Arbeit bestimmt wurde; da sich durch das fortgesetzte Stampfen die elastischen Eigenschaften des Formsandes veränderten, mußte von Zeit zu Zeit Formsand durch einen anderen Arbeiter neu aufgeschüttet werden. Tabelle 4 zeigt die erhaltenen Ergebnisse.

Tabelle 4.

Datum	Versuchs- dauer Min.	Stampf- beweg.	Beweg. pro Min.	Calorienverbrauch		
				absolut	pro Beweg.	pro Min.
23. III.	5	631	126,2	12900	27,5	3469

Da bei der Fertigstellung eines halben Kastens ungefähr 80 Stampfbewegungen erfolgen, beträgt der durch das Stampfen bedingte Calorienverbrauch pro Arbeitseinheit etwa 2200 Calorien, also etwa 20% des gesamten Arbeitsverbrauchs bei Arbeitstyp I.

b) *Bedienung der Zughebelpresse (Arbeitsvorgang II).*

Bei Arbeitstyp II erfolgt das Festpressen des Sandes derart, daß mittels Schwunghebelübertragung der Kasten gegen einen Deckel geschleudert wird (vgl. Abb. 3c und d). Der Arbeiter erfaßt dabei den Hebelgriff und zieht ihn 3—4 mal in horizontalem Zuge nach rückwärts. (Ein ähnliches Arbeitselement — horizontaler einarmiger Zug — ist von G. Lehmann¹ untersucht worden; jedoch ist ein genauer Vergleich nicht möglich, da bei G. Lehmann der Zug mehr kontinuierlich erfolgt, während hier in den ersten Phasen der Bewegung der angewandte Druck gering ist und dann beim Aufstoßen auf den Widerstand sprunghaft ansteigt.) Das Ergebnis ist in Tabelle 5 enthalten. Die Versuchsanordnung wurde wieder derart getroffen, daß 5 Minuten hindurch in der gewöhnlichen (oben beschriebenen) Weise die Zughebelpresse betätigt wurde. Da bei einem Arbeitsstück ($\frac{1}{2}$ Kasten) der Hebel 3 mal bedient wird, entfallen für Bedienung der Zughebelpresse pro Arbeitsstück 338,4 Calorien.

c) *Schlagen des Formsandes (Arbeitsvorgang II).*

Nach der Bedienung der Zughebelpresse und dem Zurückklappen des Preßdeckels wird der Sand durch Schlagen mit einem vierkantigen Eisenstab ($75,5 \times 2,4 \times 1,5$ cm = 2100 g) gefestigt. Es hatte sich herausgestellt, daß allein durch Pressen mit der Zughebelpresse der Sand nicht fest genug war, um den Transport nach dem Guß auszuhalten. Die Technik des Schlagens ist aus Abb. 3e ersichtlich; die Untersuchung erfolgte wieder derart, daß die Arbeit des Schlagens in der üblichen Weise 5 Minuten hindurch unter Messung des Energieverbrauches ausgeführt wurde; die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 5 enthalten. Die beiden Versuche stimmen gut überein; da zu einem Arbeitsstück 13—14 Schläge gehören, entfallen pro Arbeitsstück auf das Schlagen etwa 715 Calorien.

d) *Hochheben der geformten Kästen (Arbeitsvorgang I und II).*

Nach dem Abstreichen (siehe unten) wird der geformte Kasten durch Herumreißen eines Hebels mit der linken Hand hochgehoben und hierdurch dem Transport zugänglich gemacht (siehe Abb. 3f und g). Die Versuchsanordnung war wieder die gleiche, es wurde das Hochhebeln 3 Minuten hindurch ausgeführt, während die Arbeit des Zurückhebelns durch einen anderen Arbeiter erfolgte.

¹ Lehmann, Pflügers Arch. 216, 353 (1927).

Da das Gewicht der geformten Kästen 23,5 kg beträgt, wird bei jedem Hochhebeln (Hubstrecke 10 cm) eine äußere Arbeit von 2,35 m·kg geleistet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 wiedergegeben. Es entfallen an Calorien pro Meterkilogramm 85,1; obwohl dieser Wert im Vergleich zu den von *Atzler, Lehmann, Herbst* und *Müller*¹ mitgeteilten Ergebnissen bezüglich des Gewichthebens sehr hoch liegt, also unter einem sehr geringen Wirkungsgrad gearbeitet wird, ergibt sich pro Arbeitsstück hinsichtlich des Hochhebelns ein Verbrauch von nur 200 Calorien. Das Hochhebeln spielt also bezüglich des Energieverbrauches beim Formen eine untergeordnete Rolle.

e) *Schwenken der hydraulischen Presse (Arbeitsvorgang III).*

Beim Arbeitsvorgang III muß die hydraulische Presse, wie aus Abb. 2g und i ersichtlich ist, über die Form hin- und zurückgeschwenkt werden; gegenüber diesem Arbeitselement erscheint die Bedienung der Hebel (Abb. 2h) der hydraulischen Presse arbeitsphysiologisch von untergeordneter Bedeutung. Die Versuchsanordnung wurde wieder derart getroffen, daß die Arbeit des Hin- und Herschwenkens in der üblichen Weise 5 Minuten hindurch geleistet wurde. Die Presse läuft auf Kugellagern, die Reibung ist demnach sehr geringfügig. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 enthalten; es entfallen demnach auf das Schwenken pro Arbeitseinheit ($\frac{1}{2}$ Kasten) 309 Calorien.

Tabelle 5.

Arbeitselement	Datum	Vers.-dauer Min.	Beweg. absolut	Beweg. pro Min.	Calorienverbrauch		
					absolut	pro Beweg.	pro Min.
Stampfen . . .	22. III.	5	631	126,2	12900	27,5	3469
Zughebelbedieng.	23. III.	5	184	36,8	20725	112,8	4145
Schlagen . . .	22. III.	5	379	76,2	18645	49,3	3729
	24. III.	5	380	76,0	21145	55,5	4225
Hochhebeln . .	24. III.	3	66	22,0	13200	200,0	4405
Schwenken d. hydraul. Presse .	31. III.	5	46	9,2	14225	309,0	2842

Im vorstehenden ist bisher nur die Rede gewesen von solchen Arbeitselementen, die einen für den betreffenden Arbeitstyp charakteristischen Arbeitsvorgang darstellen. Viel wesentlicher für die Durchführung einer arbeitsphysiologischen Rationalisierung ist aber die Kenntnis derjenigen Arbeitselemente, die bei allen Arbeitstypen vorkommen, d. h. für den eigentlichen Arbeitsvorgang uncharakteristisch sind. Als solche kommen in erster Linie in Betracht der Transport der leeren und vollen Kästen (Rahmen), das Schaufeln und das Abstreichen.

f) *Transport leerer und voller Rahmen.*

Der Transport der leeren Rahmen (Gewicht 10 kg) erfolgt in der Weise, daß der Rahmen mit beiden, vorn herabhängenden Armen zum Arbeitsplatz getragen wird. Der Transportweg beträgt hierbei durchschnittlich 2 Meter. Außer der eigentlichen Transportarbeit kommt noch die Arbeit

¹ *Atzler, Lehmann, Herbst* und *Müller*, Pflügers Arch. 208, 184 (1925).

des Ergreifens und des Absetzens der Rahmen hinzu. Die Höhe, aus der die Rahmen abgenommen werden, wechselt im Verlauf des Tages; bei den vorliegenden Versuchen wurden die Rahmen aus einer Höhe von 120 cm, was ungefähr der durchschnittlichen Höhe entspricht, entnommen. Die Technik des Transportes ist aus Abb. 2a ersichtlich. Auf eine Analyse der Einzelvarianten dieses Arbeitselementes, d. h. vor allem die Untersuchung des Einflusses der wechselnden Entnahmehöhe auf den Energieverbrauch wurde verzichtet, da aus technischen Gründen eine Umgestaltung gerade dieses Arbeitselementes am schwierigsten ist.

Das gleiche gilt für den Transport der vollen Rahmen vom Arbeitsstand zum Band (s. Abb. 2n). Die Versuchsanordnung war hier derart, daß die Vp. in üblicher Weise den geformten Kasten (Gew. 23,5 kg) vom Arbeitsstand zum Band (Transportweg ca. 1 m) trug und dort unter Drehung um 180° (s. Abb. 2o) absetzte. Ein anderer Arbeiter trug dann den Kasten wieder zum Arbeitsstand zurück. Es kommt also bei der Bestimmung des Arbeitselementes immer ein Leerweg dazu, wie es ja auch dem in der Fabrik vorkommenden Arbeitsprozeß entspricht. Tab. 6 zeigt den Energieverbrauch beim Transport leerer und voller Rahmen.

Tabelle 6.

Transport	Datum	Versuchsdauer Min.	Transport der Stückzahl		Calorienverbrauch	
			absolut	pro Min.	absolut	pro Stück
leerer R.	31. III.	5	26	5,2	14610	563
voller R.	23. III.	7	20	2,86	14075	705
desgl.	24. III.	5	18	3,6	16475	915

Es ergeben sich als Mittelwert für den Transport der vollen Kästen pro Arbeitseinheit 810 Calorien; für den Transport der leeren und vollen Rahmen zusammen entfallen demnach pro Arbeitseinheit ca. 1370 Calorien.

g) Schaufeln.

Der Verbrauch beim Schaufeln wurde in direkter wie in indirekter Weise bestimmt. Bei der direkten wurde das Schaufeln in der üblichen Weise 5 Minuten hindurch ausgeführt; d. h. die Vp. schaufelte nicht nur, sondern scharfte auch mit der Schaufel den verstreuten Sand in geeigneten Abständen zusammen; uns lag ja nicht daran, den Verbrauch pro m³ festzustellen, sondern wie er sich aus den üblichen Arbeitsbedingungen in der Fabrik ergab.

Der Schaufelstiel maß vom Rande des Schaufelblattes 132 cm; das Gewicht der Schaufel betrug 2 kg, das des pro Hub geschaukelten Sandes 6,2 kg; die Hubhöhe bei Arbeitstyp I und II war 100 cm, bei Arbeitstyp III (hydraulische Presse) nur 80 cm. Die Schaufelform erfährt wäh-

rend des Gebrauchs eine Änderung durch Abschleiß; das Gewicht der Schaufel und vor allem des pro Hub geschaukelten Sandes verändert sich naturgemäß mit der Formänderung der Schaufel während des Gebrauchs. Die oben angegebenen Werte beziehen sich auf die Schaufelform einer mittleren Gebrauchsdauer von 5—6 Wochen. Die Abnutzung der Schaufelform ist so beträchtlich, daß nach 10—12 Wochen die Schaufeln ausrangiert werden müssen. Abb. 9 zeigt eine Schaufel, die sich 12 Wochen im Gebrauch befand und bei der gut ein Drittel der Schaufelfläche durch den Formsand abgeschliffen ist. Die Kenntnis derartiger Verhältnisse erscheint sehr wesentlich, da sich hieraus gewisse Schwierigkeiten arbeitsphysiologischer Rationalisierung ergeben; es lassen sich naturgemäß die im arbeitsphysiologischen Laboratorium ausgearteten optimalen Bedingungen in praktischen Betriebe dann schwer durchführen, wenn das Arbeitsgerät selbst seine Form in relativ kurzer Zeit weitgehend verändert (diese Verhältnisse erstrecken sich jedoch nur auf das Schaufeln beim Formen, nicht auf das Schaufeln bei anderen Arbeitselementen, bei welchen die Schaufelabnutzung geringer ist und keine störende Rolle spielt). Tab. 7 zeigt das Ergebnis der direkten Bestimmung des Energieverbrauchs beim Schaufeln.

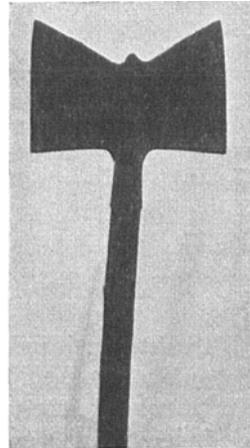


Abb. 9. Schaufel nach 12wöchigem Gebrauch.

Tabelle 7.

Datum	Versuchsdauer Min.	Schaufelhübe		Calorienverbrauch		
		absolut	pro Min.	absolut	pro Hub	pro Min.
22. III.	5	84	16,8	27335	325,2	5471
23. III.	5	80	16,0	29225	375,2	5840

Bei dem Mittelwert von 350 Calorien pro Hub ergeben sich für die Arbeitseinheit, da 4 Schaufelhübe pro $\frac{1}{2}$ Kasten erfolgen, ca. 1400 Calorien. Hierzu kommt dann noch der Verbrauch für das Ergreifen und Forttragen der Schaufel, was bei der vorliegenden direkten Bestimmung nicht zum Ausdruck kommt, da sich die Bewegung des Ergreifens und Forttragens der Schaufel auf 80—84 Hübe verteilt, beim Formen dagegen auf nur 4 Hübe. Für die Bewegung des Eingreifens und Forttragens der Schaufel werden, aus Vergleich mit dem bekannten Verbrauch bei ähnlichen Körperbewegungen (Bücken, Kniebeugen), je 300 Calorien veranschlagt, so daß sich ein Verbrauch bei Arbeitsform I

oder II zu 2000 Calorien ergibt. (Die direkte Bestimmung des Schaufelns wurde beim Arbeitsstand II vorgenommen.)

Zur Ergänzung der Versuchsergebnisse wurde der Verbrauch beim Schaufeln auch indirekt bestimmt; die Versuche wurden hierbei derart angestellt, daß ein anderer Arbeiter den Sand zuschaufelte, während der übrige Teil des Formens in gewohnter Weise gehandhabt wurde. Tab. 8 zeigt die betreffenden Versuchsergebnisse.

Tabelle 8.

Datum	Arbeitstyp	Stück ($\frac{1}{2}$ Kast.)	Arbeits- dauer Min.	Stück pro Min.	Calorien pro Stück	Calorien pro Min.	Differenz a—b Calorien für Schaufeln
27. III.	IIIa	14	13,25	1,058	5790	6110	—
	IIIb	10	8,5	1,178	3985	4680	1805
28. III.	IIa	9	12,45	0,723	8810	6355	—
	IIb	9	10,87	0,829	6725	5570	2085

a = gewöhnliche Arbeitsweise; b = Formen ohne Schaufeln.

Direkte und indirekte Bestimmung des Energieverbrauchs beim Schaufeln stimmen befriedigend überein; der um ca. 10% niedrigere Verbrauch bei Arbeitsform III gegenüber II erklärt sich aus der um 20 cm niedrigeren Hubhöhe (80 cm statt 100 cm).

Es ergibt sich aus den Versuchen als praktisch sehr bedeutungsvolles Ergebnis, auf das auch noch zurückzukommen sein wird, daß durch Beseitigung des Schaufelns trotz Steigerung der Produktionsintensität der Calorienverbrauch pro Minute sehr wesentlich herabgesetzt wird.

h) Abstreichen.

Die Technik des Abstreichens ist aus Abb. 2k ersichtlich. Es besteht darin, daß nach dem Pressen bzw. Schlagen (Arbeitstyp II) der hervorstehende Sand durch einen vierkantigen Eisenstab vom Rahmen entfernt wird. Auch der Verbrauch beim Abstreichen wurde direkt und indirekt bestimmt. Es mußte hierbei Sorge getragen werden, daß beim Versuch der Sand dieselbe Konsistenz wie unter den sonst üblichen Bedingungen hatte; bei Veränderung der Konsistenz ist eine Veränderung des zum Abstreichen notwendigen Druckes und damit des Energieverbrauches zu erwarten. Hieraus ergibt sich eine Schwierigkeit für die Durchführung der Versuche, die darin liegt, daß bei direkter Bestimmung beim Arbeiten die Stückzahl pro Minute zu gering ist, um eine gut meßbare Umsatzerhöhung auszulösen. Es wurden daher beim Arbeitsvorgang III an den beiden Arbeitsständen V und VI Kästen von 2 Arbeitern geformt und das Abstreichen durch die Vp. vorgenommen. Beim Arbeitsvorgang II wurde von 4 Arbeitern an den Arbeitsständen I—IV gearbeitet. Es kommen also hier geringe Wege (= Leerbewegungen)

hinzu, die bei der eigentlichen Arbeit fehlen; bei der direkten Bestimmung des Abstreichens wird also der für das eigentliche Abstreichen entfallende Wert etwas zu hoch erhalten. Umgekehrt, bei der indirekten Bestimmung, bei der ein anderer Arbeiter das Abstreichen vornimmt, wird der Verbrauch des Beiseitretens mitgemessen und der Differenzbetrag, der der eigentlichen Arbeit des Abstreichens entspricht, zu gering erhalten. Zum Abstreichen wurden folgende Eisenstäbe verwendet:

$$\begin{aligned} \text{Stab I} &= 68 \times 4 \times 1 \text{ cm} = 2100 \text{ g} \\ \text{,, II} &= 75,5 \times 2,4 \times 1,5 \text{ cm} = 2100 \text{ g}. \end{aligned}$$

Im Unterschied zu den bisher untersuchten Arbeitselementen finden, wie aus der geschilderten Versuchsanordnung hervorgeht, zwischen den einzelnen Arbeitsleistungen bei der direkten Bestimmung reichliche Pausen, bedingt durch das Warten auf Kästen, statt. Das Abstreichen selbst dauert nur 6 Sekunden; es wird deshalb in der folgenden Tabelle der Verbrauch pro Minute auf die eigentliche Arbeitszeit umgerechnet (d. h. ohne Einrechnung der Pausen) angegeben.

Tabelle 9.

Datum	Arbeits-typ	Bestimmung	Stück-zahl	Vers.-dauer Min.	Stück pro Min.	Calorienverbrauch		
						absolut	pro Stück	pro Min.
31. III.	III	direkt Stab I	13	7,0	2,6	28565	2192	21920
2. IV.	III	„ „ I	18	10,87	5,2	28415	1578	15780
3. IV.	II	„ „ II	16	10,12	1,6	20720	1294	12940
3. IV.	II	„ „ I	17	12,58	1,35	21205	1247	12470
3. IV.	III	indir. a „ I	14	14,75	0,949	79890	5710	5415
		„ b „ I	14	15,3	0,916	65740	4620	4295

Verbrauch beim Abstreichen: a—b = 1020

a = Formen in gewöhnlicher Weise; b = Formen ohne Abstreichen.

Aus Tab. 9 ergibt sich als eindeutiges Resultat, daß die verschiedene Form der Eisenstäbe (bei gleichem Gewicht) ohne Einfluß auf die Höhe des Energieverbrauchs beim Abstreichen ist. Allerdings ist hiermit nicht gesagt, daß wesentlich andere Stabformen, z. B. erheblich größere Länge, dreikantige Form usw. keinen veränderten Verbrauch beim Abstreichen bedingen, vielmehr erscheint dies sogar wahrscheinlich. Aber der Einfluß verschiedener Stabform scheint nach vorliegenden Versuchen nicht groß zu sein. Leider bestand bisher nicht die Möglichkeit, die Versuchsergebnisse in dieser Richtung zu ergänzen, vielmehr sei es einer späteren, in der gleichen Fabrik in Aussicht genommenen Versuchsserie vorbehalten.

Im übrigen bedürfen die Werte noch, wie aus dem vorher Gesagten hervorgeht, einer Korrektur wegen der mitgemessenen Nebenbewegun-

gen. Der erste Versuch fällt wegen zu reichlicher Nebenbewegungen heraus; dies liegt daran, daß infolge der erwähnten Schwierigkeiten die Versuchsanordnung erst etwas eingefahren werden mußte. Da beim letzten Wert (Differenzbestimmung) ein Zuschlag, bei den direkt bestimmten ein Abschlag (ca. 250 Calorien) erfolgen muß, ergibt sich als Mittelwert für das Abstreichen bei Arbeitstyp II ein solcher von 1100 Calorien, bei Arbeitstyp III ein solcher von 1300 Calorien. Da die einzelnen Werte unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse gut übereinstimmen, folgt, daß der veranschlagte Mittelwert nahezu richtig sein muß. Der niedrigere Verbrauch bei Arbeitstyp II (Arbeitsstände I—IV) ist wahrscheinlich auf die höhere Lage des Arbeitsplatzes und die dadurch bedingte andersartige Kraftverteilung zurückzuführen. Es ergibt sich hieraus die arbeitsphysiologisch wichtige Tatsache, daß am selben Arbeitsplatz mehrere Arbeitselemente vorgenommen werden, für die die optimale Höhe durchaus verschieden sein kann; so war bei unserem Beispiel beim Schaufeln der Arbeitsstand V und VI (Arbeitstyp III) mit 80 cm Höhe günstiger als der Arbeitsstand I—IV (Arbeitstyp I und II) mit 100 cm Höhe, beim Abstreichen dagegen umgekehrt. Daß durch die Abnahme des Abstreichens durch einen zweiten Arbeiter zwar eine beträchtliche Senkung des Calorienverbrauchs pro Minute, aber, im Gegensatz zum Schaufeln, eine geringe Erniedrigung der Produktionsintensität stattfindet, liegt daran, daß beim Zuschaufeln der Arbeiter am Arbeitsplatz bleiben kann, während beim Abstreichen durch das Beiseitretreten ein Zeitverlust stattfindet.

4. Rationalisierung des Formens auf Grund des Verhaltens des Energieverbrauchs.

Die im vorstehenden gebrachten Einzelergebnisse bei Untersuchung der einzelnen Arbeitselemente sind in Abb. 10 zusammengestellt. Die eingeklammerten römischen Zahlen bedeuten den Arbeitsvorgang. Wir sehen, daß das Stampfen mit 2200 Calorien den höchsten Verbrauch

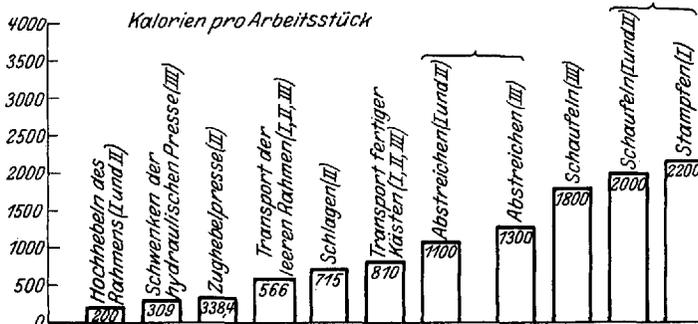


Abb. 10. Energieverbrauch bei den einzelnen Arbeitselementen des Formens.

pro Arbeitsstück bedingt. Das Festpressen des Sandes bei Arbeitsvorgang II (Schlagen zuzüglich Zughebelpresse) erfordert nur 1053,4 Calorien, also ungefähr die Hälfte, während das Festpressen durch Bedienung der hydraulischen Presse etwa 500 Calorien erfordert, worunter 300 auf das Schwenken entfallen und 200 auf die Bedienung der Hebel schätzungsweise veranschlagt werden. Die Herabsetzung des Calorien-

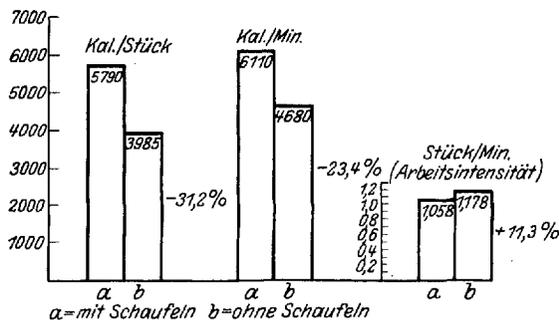


Abb. 11a. (27. III. 1928.) Einsparung durch Fortlassen des Schaufelns (Arbeitstyp III).

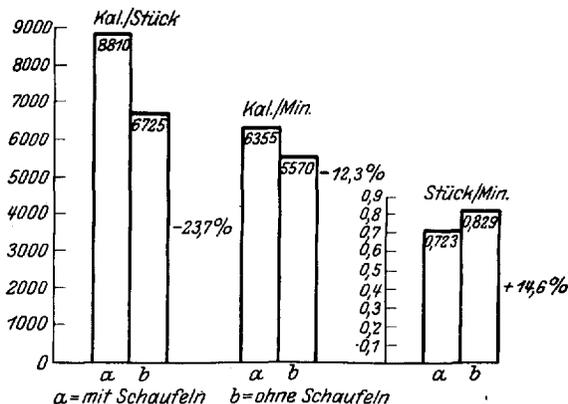


Abb. 11b. (28. III. 1928.) Einsparung durch Fortlassen des Schaufelns (Arbeitstyp II).

verbrauches pro Stück durch die technische Rationalisierung beruht also zum großen Teil auf der mit dem technischen Fortschritt verbundenen Herabsetzung des Calorienverbrauches für das Preßverfahren, das für den betreffenden Arbeitsvorgang charakteristisch ist.

Bei der weiteren, auf physiologischen Gesichtspunkten basierenden Rationalisierung muß der Fortfall der besonders anstrengenden Arbeitselemente, vorzugsweise solcher, die nicht für den Arbeitsvorgang charakteristisch sind, erstrebt werden; also das Abstreichen mit 1100 bzw. 1300 Calorien, der Transport leerer und voller Kästen mit zusammen

1376 Calorien, und besonders das Schaufeln mit 1800 bzw. 2000 Calorien pro Arbeitsstück.

Aus den in Tab. 8 angeführten Versuchen geht bereits hervor, daß bei Fortfall des Schaufelns pro Arbeitsstück bei Arbeitsform II eine Ersparnis von 23,7% und bei Arbeitsform III von 30,9% auftritt, wobei gleichzeitig die Produktion bei Arbeitsvorgang III um 11,3%, bei Ar-

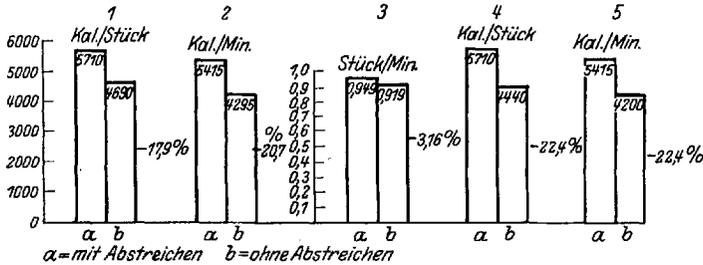


Abb. 12. (8. IV. 1928.) Einsparung des Energieverbrauchs beim Formen durch Fortlassen des Abstreichens; Stab 1—3: bei den wirklichen Versuchsbedingungen; Stab 4 und 5: Korrektur bei gleichbleibender Arbeitsintensität und Einberechnung des Beiseitertretens mit 250 cal.

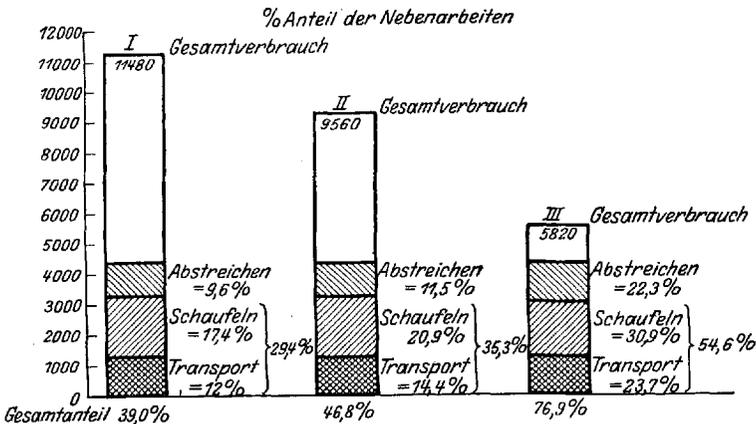


Abb. 13. Anteil der Nebenarbeiten am Gesamtverbrauch des Formens bei den drei Arbeitstypen.

beitsvorgang II um 14,6% steigt. (Absolut genommen ist die Produktionssteigerung bei Arbeitsvorgang III höher, da ja hier der Ausgangswert viel höher liegt.) Trotz der Steigerung der Produktion ist hier, bei Fortfallen des Schaufelns, der Verbrauch pro Minute bei Arbeitsvorgang II um 12,3%, bei Arbeitsvorgang III um 23,4% herabgesetzt (vgl. Abb. 11a und 11b). In ähnlicher Weise ergibt sich bei Fortlassen des Abstreichens (s. Abb. 12) pro Arbeitsstück eine Herabsetzung um 17,9%; bei Einkorrektur des Beiseitertretens mit 250 Calorien (geschätzt) und

angenommener gleichbleibender Arbeitsintensität ergibt sich eine Herabsetzung des Verbrauchs um 22,4% pro Minute.

Abb. 13 stellt nun den Anteil der besprochenen 3 Arbeitselemente, deren Beseitigung in erster Linie in Frage kommt, am Gesamtverbrauch pro Arbeitsstück dar; es ist daraus die praktisch außerordentlich wichtige Tatsache ersichtlich, daß die Nebenarbeiten mit der technisch fortschreitenden Rationalisierung in ihrem Anteil an dem Gesamtprozeß immer mehr anwachsen, und zwar derart, daß beim Arbeitsvorgang III die Nebenarbeiten über drei Viertel des gesamten Energieverbrauches ausmachen. Es läßt sich aus der Abbildung ersehen, daß bei Beseitigung z. B. des Schaufelns bei gleichbleibender Produktionsintensität sich der Energieverbrauch bei der Arbeit beim Arbeitsvorgang I um 17,4%, beim Arbeitsvorgang III dagegen um 30,9% ermäßigen läßt. Die Beseitigung der Nebenarbeiten ist daher um so wichtiger, je weiter vorgeschritten die technische Rationalisierung ist.

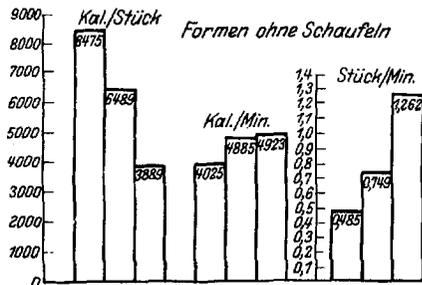


Abb. 14 (26. III.). Energieverbrauch bei Arbeitstyp I—III ohne Schaufeln.

Es folgt aus den angegebenen Ergebnissen weiter, daß beim Fortfallen eines der 3 Arbeitselemente (Schaufeln, Transport oder Abstreichen) sich der Verbrauch pro Minute bei den 3 verschiedenen Arbeitstypen angleichen muß. Als experimenteller Beweis hierfür diene der Versuch vom 26. III. (siehe Abb. 14). Es wurde hier das Formen wie üblich vorgenommen, das Schaufeln jedoch von einem anderen Arbeiter ausgeführt. Bei beträchtlicher Herabsetzung des Verbrauchs pro Stück und beträchtlicher Steigerung der Produktion gegenüber dem Versuch am 19. III. (s. Abb. 4) ist der Verbrauch pro Minute bei Arbeitsvorgang II und III erheblich herabgesetzt und auch die Differenz gegenüber Arbeitsvorgang I nicht mehr beträchtlich. Daß der Verbrauch pro Minute bei Arbeitsvorgang II und III noch höher liegt als bei Arbeitsvorgang I, ist darauf zurückzuführen, daß nur das Schaufeln und nicht auch Transport- oder Abstreichen zum Fortfallen gekommen ist.

Aus den angegebenen Versuchsdaten läßt sich berechnen, wie sich der Calorienverbrauch pro Stück und Minute bei Fortfall der Nebenarbeiten gestalten wird. Abb. 15 stellt die derart berechneten Werte dar. Es ergibt sich, daß bei Fortfallen des Schaufelns und des Abstreichens der Verbrauch bei allen 3 Arbeitstypen sich ungefähr angleicht bei Annahme der Produktionsintensität vom 19. III. (Abb. 4), daß aber bei Fortfallen auch des Transportes der Arbeitsvorgang III auch hinsichtlich des Verbrauches pro Minute erheblich günstiger als die anderen Arbeitsvorgänge abschneiden würde; es würde der Energieverbrauch pro Minute bei Arbeitsvorgang III nur ungefähr $\frac{1}{2}$ so hoch wie bei Arbeitsvorgang I liegen.

In diesem Falle wäre also die technisch vollkommenste Arbeitsform auch — hinsichtlich des Kraftverbrauches — die arbeitsphysiologisch vollkommenste.

Aus den bisher angeführten Versuchsergebnissen läßt sich aussagen, daß durch den Fortfall besonders des Schaufelns, dann des Transportes und Abstreichens die Arbeitsbedingungen nach physiologischen Gesichtspunkten eine wesentliche Besserung erfahren, so daß trotz Steigerung der Produktion (bei Fortfall des Schaufelns nachgewiesen, siehe Abb. 11) der Kraftverbrauch des Arbeiters herabgesetzt wird. Auch sei nochmals auf die Tatsache hingewiesen, daß — jedenfalls bei der industriell sehr wichtigen und häufigen Arbeit des Formens — die arbeitsphysiologische Rationalisierung um so dringender wird (bzw. werden kann), je weiter vorgeschritten der technische Rationalisierungsprozeß ist.

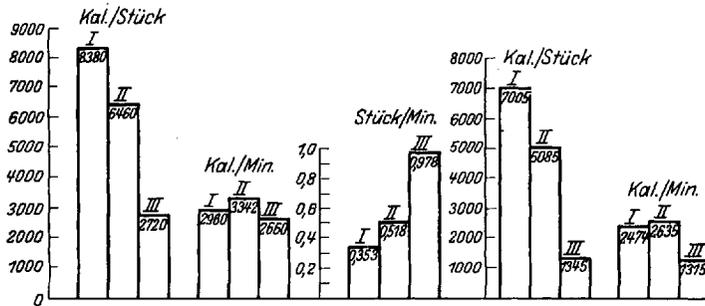


Abb. 15. Voraussichtlicher Verbrauch bei Arbeitstyp I—III bei Beseitigung des Schaufelns und Abstreichens bzw. des Schaufelns, Abstreichens und des Transportes bei gleicher Arbeitsintensität wie Abb. 4.

Es bleibt noch zu erörtern, inwieweit die sich auf Grund der Versuche ergebenden Anregungen technisch durchführbar sind (die ausführliche Erörterung der technischen Probleme erfolgt in einer von Herrn Oberingenieur *Stern* und dem Verfasser gemeinsam beabsichtigten Publikation in einer technischen Fachzeitschrift).

Rationalisierung des Transportes.

Die Beseitigung des Transportes war zu dem Zeitpunkt, in welchem die Untersuchungen erfolgten, zum größten Teil bereits geschehen. Ursprünglich, bevor das laufende Band eingeführt war, mußten die Kästen von der Formerei in die Gießerei getragen werden. Die geschilderten Transportverhältnisse stellen also nur einen kleinen Rest — in der Auswirkung auf den Arbeitsvorgang allerdings durchaus noch beträchtlich — der ursprünglich sehr großen Transportarbeit dar. Eine weitere Einschränkung des Transportes ist aber kaum möglich. Im Gegensatz zu anderen industriellen Arbeitstypen, in denen der Transport meist restlos mechanisiert ist, müssen die geformten Kästen vorsichtig abgehoben

und aufgesetzt werden, da sonst der Sand verreit. Eine derartig vorsichtige Handhabung erscheint bei Mechanisierung des Transportes kaum möglich.

Es bleibt noch zu diskutieren, ob eine *Umgestaltung* des Transportes nach arbeitsphysiologischen Grundsätzen möglich ist. *Bedale*¹ sowie neuerdings *Cathcart* und Mitarbeiter² untersuchten systematisch das Tragen von Lasten in 8 verschiedenen Arten, darunter auch die vorliegende (Transport der Lastform nach Art eines Tablettes). Die anderen untersuchten Tragarten waren folgende: Erleichterung der Last durch einen über der Schulter liegenden Gurt, Verteilung der Last auf 2 Säcke, die mit herabhängenden Armen getragen werden, Tragen auf einer Schulter, auf einer Hüfte, als Rucksack, auf dem Kopf sowie Verteilung der Last auf 2 Eimer, die mittels eines Joches getragen werden. Endlich wurde auch der Einfluß der Verteilung der Last auf eine schmalere oder breitere Fläche untersucht. Die letztgenannten Modifikationen schalten deshalb für unseren Fall aus, weil die Form der Kästen nicht veränderlich ist. Die uns interessierende Transportform weist in den englischen Untersuchungen bei der einen Vp. (bei 11 kg Belastung, wie es dem Transport der leeren Rahmen entspräche) beim Vergleich sämtlicher untersuchter Tragarten einen mittleren Verbrauch pro Arbeitseinheit (Transport von 1 kg um 1 m horizontal) auf; bei einer Belastung von 22,5 kg, also beim Gewicht der vollen Rahmen, den höchsten von allen untersuchten Tragarten. Bei der 2. Vp. sind die Verhältnisse insofern etwas verschieden, als hier bei 10 kg Belastung die Verbrauchswerte pro Arbeitseinheit unterhalb des Mittelwertes, bei Belastung von etwa 20 kg ungefähr in der Mitte liegen. Aus technischen Gründen ist ein Ersatz der vorliegenden Transportform, der vor allem für den Transport der vollen Kästen in Frage käme, durch irgendeine der genannten Tragarten nicht möglich. Beim Transport der vollen Rahmen käme höchstens die Erleichterung durch Befestigung an einem über der Schulter liegenden Gurt in Frage, aber die Energieersparnis ist hierbei nur geringfügig, wird zudem wahrscheinlich durch die Arbeit des Anschlingens und Befestigens am Gurte ausgeglichen, wobei der Zeitverlust sogar eine störende Hemmung der Produktionsintensität mit sich bringen dürfte.

Schaufeln.

Bei dem Versuch einer Umgestaltung des Schaufelns wäre nach der von *Atzler* inaugurierten Arbeitsrichtung der Einfluß der Varianten des Schaufelns auf den Energieverbrauch zu untersuchen. Derartige Untersuchungen sind auch kürzlich aus dem *Atzlerschen* Institut von *Wenzig*³ mitgeteilt worden. Als Varianten beim Schaufeln haben wir: Wurf- (bzw. Hub-) Höhe, Form und Gewicht des Schaufelblattes wie des Schaufelstieles, absolutes und spezifisches Gewicht der geschaufelten Masse, Frequenz.

Wenzig hebt selbst hervor, unter wie vielen verschiedenen Formen das Schaufeln verläuft, und spezialisiert seine Untersuchungen auf den Fall des Vollschaufelns eines Wagens, dessen Höhe veränderlich ist.

¹ *Bedale*, l. c., S. 509.

² *Cathcart* und Mitarbeiter, l. c., S. 504.

³ *Wenzig*, Z. Arbeitsphysiol. 1, 154 (1928).

Eine genaue Übertragung der von *Wenzig* für seinen Spezialfall gefundenen optimalen Bedingungen auf das Schaufeln beim Formen ist deshalb nicht möglich, weil der Bewegungsablauf bei den beiden Schaufeltypen durchaus verschieden ist: bei dem von *Wenzig* untersuchten Schaufeltyp wird die Last geworfen, während beim Formen der Sand gehoben und in die Form von oben geschüttet wird (s. Abb. 2e). Es entfällt also bei uns die Schwungarbeit, die für das Zustandekommen der *Wenzigschen* Resultate einen dominierenden Einfluß ausübt. In Übereinstimmung mit dem Fortfall der Schwungarbeit steht die Tatsache, daß bei der gleichen Belastung bei dem von uns untersuchten Schaufeltyp der Calorienverbrauch pro Hub unter den von *Wenzig* ermittelten Werten liegt, und zwar ziemlich genau im gleichen Verhältnis, wie sie in Berechnungen von *Wenzig* dem Unterschiede zwischen der vom Körper tatsächlich geleisteten Arbeit (inkl. Schwungarbeit) und den äußerlich geleisteten Meterkilogramm entspricht; tatsächlich entspricht ja das Schaufeln beim Formen auch viel eher der äußerlich geleisteten Arbeit (Hubhöhe \times Last).

In den von *Wenzig* angestellten Versuchen erwies sich die Hubhöhe von 1 m hinsichtlich der für die Arbeitseinheit von 1 m-kg entfallenden Calorien als besonders ungünstig. Da beim Formen gerade diese Hubhöhe vorliegt, sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, daß bei der Rationalisierung des Schaufelns beim Formen nicht die Calorien pro m-kg, sondern nur die Calorien pro Hub einen geeigneten Maßstab darstellen. Der Verbrauch pro Hub wächst aber auch in den *Wenzigschen* Untersuchungen naturgemäß von den kleinen (0,5 m) bis zu den großen Hubhöhen (2—2,5 m) kontinuierlich an. Es muß also unser Bestreben sein, die Hubhöhe zu verringern, gleichviel wie hoch die vorgefundene Hubhöhe ist. Der Arbeiter wie das Werk werden ja nicht für die geleisteten Meterkilogramme, sondern für die technische Arbeitsleistung bezahlt; es kommt in *unserem Falle* also nicht darauf an, daß die Calorien pro Meterkilogramm herabgesetzt werden, sondern lediglich der Verbrauch für die technische Arbeitseinheit (= $\frac{1}{2}$ Kasten). (Bei dem von *Wenzig* untersuchten Arbeitsvorgang, der zu der praktisch sehr wichtigen Frage führt, ob das Schaufeln z. B. auf eine Hubhöhe von 2 m besser in 2 Abschnitten von 2 Arbeitern oder in einem Abschnitt von einem ausgeführt wird, spielt die Arbeitsleistung in Meterkilogramm und damit die Calorien pro Meterkilogramm eine sehr maßgebliche Rolle).

Eine Veränderung der Hubhöhe beim Formen erscheint aber nur dadurch überhaupt möglich, daß der Sand nicht vom Boden, sondern von einem erhöhten Aufsatz aus geschaufelt wird; die Einführung derartiger Aufsätze stößt jedoch auf so große Schwierigkeiten (Raumbehinderung), daß die Veränderung der Hubhöhe praktisch nicht in

den Rahmen einer physiologischen Rationalisierung gezogen werden kann. Während also die Hubhöhe nicht veränderlich ist, verändert sich umgekehrt die Form und damit das Gewicht des Schaufelblattes wie der geschaukelten Last in relativ kurzer Zeit und erschwert damit das Innehalten etwaiger festgestellter optimaler Bedingungen. Diese Schwierigkeit läßt sich aber umgehen, indem die Forderung aufgestellt wird, die Schaufeln von der festgesetzten optimalen Form nur 2—3 Wochen im Gebrauch zu lassen und dann durch neue zu ersetzen. Die geringe Mehrausgabe wird hierbei wahrscheinlich durch die Kraftersparnis und Erhöhung der Ausdauer wettgemacht. Als optimale Schaufelform ist diejenige zu wählen, die gerade noch die optimale Belastung zuläßt. Die von *Wenzig* angestellten Untersuchungen, die in diesem Punkte wahrscheinlich in erster Annäherung auch unseren Verhältnissen gerecht werden, zeigen, daß bei unserer Hubhöhe von 1 m die Belastung von 8 kg dem Optimum nahezukommen scheint.

Der Einfluß des Schaufelstielgewichtes ist, wie aus Versuchen von *Derlitzki* und *Huxdorf*¹ hervorgeht, geringfügig. *Wenzig* untersuchte den Einfluß verschiedener Länge des Schaufelstieles, und zwar gelangten zur Untersuchung ein Schaufelstiel von 48,64 und von 84 cm Länge, während die Länge des bei *Bamberger, Leroi & Co.* üblichen Schaufelstieles 124 cm betrug. Auch unter Berücksichtigung der verschiedenen Tülle ist der von *Wenzig* untersuchte längste Stiel von 102 cm noch um 30 cm kürzer als unserer mit 132 cm. Eine Übertragung gerade dieser Untersuchungen auf unseren Arbeitsvorgang ist ausgeschlossen, weil der Einfluß des Schaufelstieles auf den Energieverbrauch von *Wenzig* auf die Beeinflussung des Schwungvorganges zurückgeführt wird. Es scheint aber der Einfluß der verschiedenen Schaufelstiellänge nicht groß zu sein, z. B. in den *Wenzigschen* Untersuchungen bei der unserem Arbeitsvorgang am nächsten liegenden Belastung von 7,25 kg und einer Hubhöhe von 1 m maximal etwa 15%. Da bei uns der Schwungvorgang wegfällt, dürfte der Einfluß der verschiedenen Schaufelstiellänge wahrscheinlich noch geringer sein.

Eine durchgreifende Änderung durch Umgestaltung des Schaufelns läßt sich demnach nicht erwarten, denn selbst bei einer günstigenfalls erzielbaren Kraftersparnis von 20% beim Schaufeln spielen die eingesparten Calorien, auf den Gesamtverbrauch beim Formen umgerechnet, keine wesentliche Rolle. Es muß vielmehr hingezielt werden auf eine völlige Ausschaltung des Schaufelns; in diesem Falle würde also technische und arbeitsphysiologische Rationalisierung gleichsinnig verlaufen.

Tatsächlich ist das Schaufeln durch Silos, die den Sand von oben auf den Arbeitsstand fallen lassen, ersetzbar. Die bis vor kurzem bestehenden Schwierigkeiten (Größe der Nachfuhr, genügende Durchmischung, optimale Temperatur und chemische Zusammensetzung des Formsandes), die einer Einführung der Silos im

¹ *Derlitzki* und *Huxdorf*, Handarbeit 4, Nr 3 (1927).

Wege standen, scheinen nach den darauf hinielenden Versuchen von Herrn Obergeringieur *Stern* überwunden zu sein.

Abstreichen.

Auch das Abstreichen, das in anderen Formereibetrieben noch eine viel größere Rolle spielt, ist durch maschinelle Vorrichtungen — ebenfalls nach Angaben von Herrn Obergeringieur *Stern* — wohl ersetzbar; und wahrscheinlich ergibt sich aus den vorliegenden Untersuchungen die Anregung zur Konstruktion eines neuen Maschinentypus.

Zusammenfassung.

Auf Grund statistischer Untersuchungen wird geschlossen, daß wir tatsächlich berechtigt sind, in der Höhe des Energieverbrauches bei industrieller Arbeit den Maßstab körperlicher Abnutzung zu sehen. Die technische Rationalisierung hat zu der im Augenblick lebhaft umstrittenen Frage geführt, ob mit zunehmender Intensivierung der Arbeit eine Gefährdung des Arbeiters verbunden ist oder sein kann. Die Untersuchung dieser Frage war in der Fabrik von Bamberger, Leroi & Co. möglich, in der bei der in Durchführung begriffenen technischen Rationalisierung noch 3 verschiedene Arbeitstypen des Formens nebeneinander in Anwendung waren: Als primitivster Stampfen des Formsandes mit einem Handstempel (I), als zweiter Pressen des Sandes mittels einer Zughebelpresse (II), als dritter und technisch vollkommenster Bedienung einer hydraulischen Presse.

An einem langjährig als Former tätigen Arbeiter wurde mit Hilfe des Respirationsapparates nach *Simonson* Sauerstoffverbrauch, Kohlen säureausscheidung und Ventilation bei den drei verschiedenen Arbeitstypen des Formens untersucht. In Übereinstimmung mit den subjektiven Angaben des Arbeiters erwies sich der Kraftverbrauch pro Minute bei dem technisch vollkommensten Arbeitstyp III am höchsten, während der Calorienverbrauch pro Arbeitsstück hier am niedrigsten und am höchsten bei Arbeitstyp I war; d. h. die ungünstigeren Verhältnisse bei den Arbeitstypen II und III sind lediglich eine Folge der Intensivierung der Arbeit. Auch bei Versuchen, die nach 4stündiger Arbeitszeit angestellt wurden, ergeben sich die gleichen Verhältnisse.

Bei der Untersuchung der wichtigsten einzelnen Arbeitselemente, aus denen sich der komplexe Arbeitsvorgang des Formens zusammensetzt, wurde, nach dem Anstieg des Energieverbrauches pro Arbeitsstück geordnet, folgende Reihenfolge festgestellt: Hochhebeln (200), Schwenken der hydraulischen Presse (309), Bedienung der Zughebelpresse (338,4), Transport der leeren Rahmen (566), Schlagen (715), Transport der fertigen Kästen (810), Abstreichen bei Arbeitstyp I und II (1100), bei Arbeitstyp III (1300), Schaufeln bei Arbeitstyp III (1800), bei Ar-

beistyp I und II (2000), Stampfen (2200). (Die eingeklammerten Zahlen bedeuten Calorien pro Arbeitsstück.) Abgesehen vom Stampfen erweist sich am höchsten der Calorienverbrauch bei den „Nebenarbeiten“, als welche Schaufeln, Abstreichen und Transport zusammengefaßt werden. Diese Nebenarbeiten nehmen einen um so größeren Anteil am Gesamtarbeitsverbrauch ein und ihre Beseitigung ist daher um so dringender, je vollkommener die technische Rationalisierung ist. Tatsächlich konnte gezeigt werden, daß beim Fortfall des Schaufelns (Vornahme durch einen anderen Arbeiter) trotz Steigerung der Produktionsintensität ein beträchtliches Absinken des Calorienverbrauches und eine Angleichung desselben bei den 3 verschiedenen Arbeitstypen stattfindet. Ähnliches tritt auch beim Fortfall des Abstreichens ein. Es ergibt sich daraus die Anregung, das Schaufeln und Abstreichen zu beseitigen. Es werden die technischen Möglichkeiten einer Beseitigung der Umgestaltung des Transportes, des Schaufelns und des Abstreichens besprochen.
