

Physiologische Arbeitsgestaltung

Von E. Grandjean, Zürich

1. Einleitung

Zu Beginn der Industrialisierung stand die Maschine im Mittelpunkt aller Interessen und Bemühungen der Unternehmer. Zur damaligen Zeit war sie auch der wesentlichste Faktor, der die Produktion bestimmte und begrenzte.

Nachdem die Maschine überall in der industriellen Produktion große Verbreitung gefunden und zum Teil auch großartige Entwicklungen durchgemacht hatte, kam man, zu Beginn dieses Jahrhunderts, allmählich zur Einsicht, daß für die Produktion die Maschine nicht allein ausschlaggebend ist, sondern daß hierfür der sie bedienende Mensch sowie alle andern menschlichen Arbeiten in einem Betrieb ebenso wichtig sind. Vielfach hatte die Maschine eine Entwicklungsstufe erreicht, bei welcher nicht sie, sondern der bedienende Mensch die Produktion begrenzte.

Diese Entwicklung gab Anlaß zur Entstehung einer ganzen Gruppe neuer Wissenschaften, die man im allgemeinen als Arbeitswissenschaften bezeichnet, zu denen man im besondern die Betriebswissenschaften, die Arbeitspsychologie und die Arbeitsphysiologie zu zählen hat. Das Hauptobjekt dieser Arbeitswissenschaften ist der Mensch im Produktionsprozeß, wobei sie sich im wesentlichen mit den Problemen «Mensch – Arbeit» oder «Mensch – Maschine» mit all ihren Wechselbeziehungen auseinandersetzen. Das gleichzeitig wachsende Verständnis für soziale Probleme hat die Entwicklung und Verbreitung der Arbeitswissenschaften erleichtert und gefördert.

Das Endziel der Bestrebungen – um die Anpassung der Arbeit an den Menschen – hat ursprünglich in einfachster Form gelautet:

Höhere Leistung bei geringerer Beanspruchung des arbeitenden Menschen.

Während es sich dabei noch vor 20 Jahren im wesentlichen um die Erleichterung schwerer Muskelarbeit handelte, kommen heute mehr und mehr die Probleme der Beanspruchung bzw. der Entlastung des Nervensystems hinzu.

Mit zunehmender Mechanisation und Automatisierung verschwinden die eigentlichen Schwerarbeiten aus unsern Industriebetrieben, während die Arbeitsplätze mit hohen Anforderungen an die Konzentration, an die Sinnesorgane, an die Geschicklichkeit und an die geistige Regsamkeit immer häufiger werden. Gleichzeitig nehmen auch Beschäftigungen zu mit ausgesprochen monotonen und langweiligen Arbeiten, zum Teil verbunden mit verantwor-

tungsschweren Überwachungsaufgaben. *Die moderne Arbeitsphysiologie muß sich somit in zunehmendem Maße mit der Reduktion der nervösen Beanspruchung und mit der Anpassung der Arbeit im Sinne einer optimalen Nutzung menschlicher Intelligenz und Geschicklichkeit sowie der Leistungen der Sinnesorgane und anderer nervöser Funktionen befassen.*

Von arbeitsphysiologischen Gesichtspunkten aus können wir die Beschäftigungen in der Industrie in drei Kategorien einteilen:

- a) die Schwerarbeit mit hohem Energieverbrauch;
- b) die Arbeiten mit vorwiegender Beanspruchung der nervösen Steuerung oder der Sinnesorgane;
- c) die Arbeiten mit vorwiegender Beanspruchung des Bewußtseins (Geistes- oder Kopfarbeiter).

Die vorliegenden Ausführungen beschränken sich auf die zweite Kategorie, zu denen im wesentlichen die repetitiven Handarbeiten, die Beschäftigungen mit hohen Stückzahlen und die Arbeitsplätze mit hohen Anforderungen an die Augen und andere Sinnesorgane zu zählen sind.

2. Physiologische Grundlagen

Die ausführenden Organe jeder menschlichen Arbeit sind die Muskulatur und die sie steuernden Nerven. Bei der Muskelarbeit können wir zwei Arten von Tätigkeiten unterscheiden:

*die dynamische Muskelarbeit (rhythmische Arbeit) und
die statische Muskelarbeit (Halte-Arbeit)*

Bei der statischen Arbeit verharrt der Muskel während eines längeren Zeitraumes zusammengezogen, in einem erhöhten Spannungszustand. Bei der dynamischen Arbeit folgen sich in rhythmischer Folge Spannung und Entspannung der Muskeln.

Zwischen diesen beiden Arten von Muskelarbeiten besteht ein grundlegender Unterschied: Bei der statischen Muskelarbeit werden durch den inneren Druck im Muskelgewebe die Blutgefäße zusammengepreßt; Resultat: es fließt kein Blut mehr in den Muskel.

Bei der dynamischen Muskelarbeit dagegen – also etwa beim Gehen – funktioniert der Muskel wie eine Motorpumpe auf den Blutkreislauf. Bei der Zusammenziehung des Muskels wird das Blut ausgepreßt, und bei der nachfolgenden Entspannung füllt sich der Muskel wieder mit Blut auf. Dadurch wird die Blutzirkulation im dynamisch arbeitenden Muskel um ein vielfaches erhöht; er bekommt tatsächlich 10- bis 20mal mehr Blut als in Ruhe. Bei der dynamischen Arbeit wird der Muskel vom Blut durchflutet, und er erhält den energiereichen Zucker und Sauerstoff, während die entstehenden Schlacken sozusagen weggespült werden.

Der Muskel – der eine statische Arbeit verrichtet – bekommt keinen Zucker und keinen Sauerstoff aus dem Blut, er muß von seinen Reserven zehren. Außerdem – und das ist wohl der größte Nachteil – werden die Schlacken nicht fortgeschafft; diese häufen sich im Gegenteil an und lösen den akuten Schmerz der Muskelermüdung aus.

Deshalb können wir eine statische Muskularbeit nicht sehr lange aushalten, der Schmerz wird uns zwingen, die Arbeit abubrechen. Dagegen kann eine dynamische Arbeit – sofern wir einen geeigneten Rhythmus wählen – sehr lange ohne Ermüdung ausgeführt werden. Es gibt ja einen Muskel, der das ganze Leben ohne Unterbruch und ohne zu ermüden dynamisch arbeitet: der Herzmuskel.

Diese grundlegenden Unterschiede beider Arten von Muskeltätigkeiten sind in Abb. 1 schematisch dargestellt.

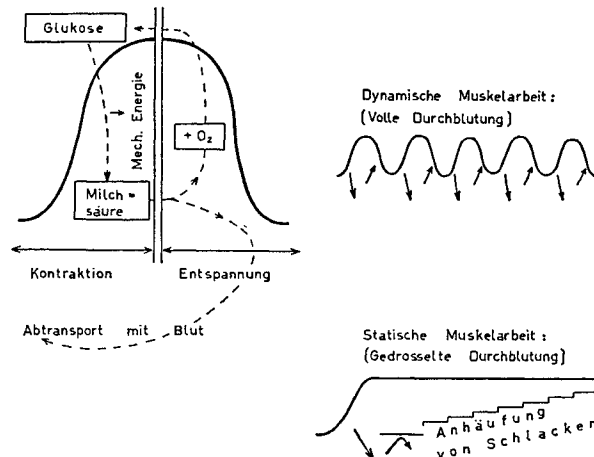


Abb. 1. Schematische Darstellung der Vorgänge bei dynamischer und statischer Muskularbeit. Die Glockenkurve links entspricht einer registrierten Muskelkontraktion mit nachfolgender Entspannung. Die Pfeile in den beiden Zeichnungen rechts deuten die Durchblutungsverhältnisse an: Pumpwirkung der dynamischen Muskularbeit auf die Muskeldurchblutung; Drosselung der Durchblutung bei statischer Arbeit.

3. Erleichterungen für die Muskularbeit

Bei der Anpassung der Arbeit selbst, aber auch bei der Anpassung der Maschinen und Geräte muß deshalb die Forderung nach *Ausschaltung jeder Art von Haltearbeit* das Leitmotiv aller Bemühungen bleiben. Es ergeben sich daraus folgende 4 konkrete Forderungen:

1. *Man vermeide jede gebeugte oder unnatürliche Körperhaltung.*

2. *Man vermeide das Verharren der Arme (gegebenenfalls auch eines Beins) in ausgestreckter Haltung.*
3. *Man strebe, wenn möglich, eine sitzende Arbeitsweise an.*
4. *Alle Armbewegungen sollen entgegengesetzt oder symmetrisch ausgeführt werden, da die Bewegung eines Armes allein die Rumpfmuskulatur statisch beansprucht.*

Aus den bisherigen physiologischen Erörterungen ergeben sich gleichzeitig auch wichtige Richtlinien für die Gestaltung der Maschinen und für die Gestaltung der Arbeitsplätze, die hier kurz wie folgt zusammengefaßt werden können:

5. Die *Arbeitshöhe (die Tischhöhe)* soll so gewählt werden, daß der Arbeiter eine natürliche, leicht nach vorn geneigte Haltung des Oberkörpers einhalten kann, wobei die Distanz zwischen Augen und Arbeitsobjekt je nach der Schwierigkeit der Sehaufgabe berücksichtigt werden muß. (Je kürzer die optimale Sehdistanz, um so höher muß das Arbeitsfeld sein.)
6. *Griffe, Bedienungshebel, Werkzeuge* sollen an Maschinen, Geräten und Arbeitsplätzen so angeordnet sein, daß die häufigsten Bewegungen körpernahe (also ohne statische Beanspruchung von Schultern und Oberarm) und nur die seltenen, kurzdauernden und wenig Präzision verlangenden Bewegungen in Armdistanz vom Körper ausgeführt werden. Die größte Kraft und beste Präzision der Hände hat man bei gesenktem und gebeugtem Ellbogen und bei einer Distanz Hand–Auge von 30 cm.
7. Mit *Ellbogen-, Unterarm- oder Handstützen* kann die Haltearbeit ganz oder teilweise aufgehoben werden. Die Stützen sollen mit einem wärmeisolierenden Material (Filz) versehen und beliebig verstellbar sein, um eine individuelle Anpassung zu ermöglichen.

4. Erleichterungen für die nervöse Steuerung von Geschicklichkeitsarbeiten

Wenn man nach den erwähnten Prinzipien die Arbeitsplätze gestaltet und rationalisiert, dann erzielt man zunächst eine Erleichterung der Muskelarbeit. Wir geben damit dem Arbeiter die Möglichkeit, nun rascher zu arbeiten, was auch zu einer Erhöhung der Stückzahlen und somit der Produktivität führt. Damit haben wir die Erleichterung der Muskelarbeit mit einer größeren Beanspruchung der nervösen Steuerung umgetauscht. Es wird somit die Muskulatur auf Kosten des Nervensystems entlastet; die Muskelermüdung wird zwar ausgeschaltet, dagegen werden wir uns nun mit dem Problem der nervösen Ermüdung auseinandersetzen müssen. Ganz allgemein kann man sich merken: Je größer die Stückzahl, um so geringer wird die Muskel- und um so größer die nervöse Beanspruchung.

Einige physiologische Betrachtungen über die nervösen Funktionen, die bei einer Geschicklichkeitsarbeit beansprucht werden, können die obigen Ausführungen verständlich machen.

In Abb. 2 sind die wesentlichen nervösen Funktionen bei einer einfachen Greifbewegung schematisch dargestellt. Der erste Teil der Greifbewegung wird auf Grund der visuellen Informationen gesteuert: Nervöse Impulse gelangen längs dem Sehnerven aus der Netzhaut des Auges in das Gehirn, wo letzten Endes die Summe der ankommenden Impulse als das Bild Hand-Finger-Greifobjekt wahrgenommen wird. Im Gehirn werden diese Impulse umgeschaltet,

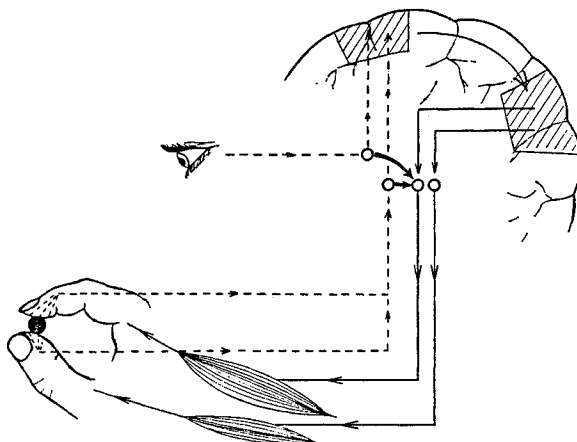


Abb. 2. Schematische Darstellung der nervösen Steuerungen bei Geschicklichkeitsarbeiten.
Weitere Einzelheiten siehe Text.

in andere Zentren geleitet, und über die Willensbildung werden nun die Zentren der Muskelsteuerung in Tätigkeit versetzt. Auf Grund der visuellen Informationen steuert das Gehirn den weiteren Bewegungsablauf. Wenn das Arbeitsobjekt ergriffen wird, gelangen neue Informationen über die druckempfindlichen Nerven der Haut ins Gehirn, die den Menschen über den angewendeten Druck in den Fingern orientieren. Dank dieser Information steuert und dosiert nun auch das Gehirn den notwendigen Druck in den Fingern.

Man kann sich aus dieser Betrachtung leicht vorstellen, wie groß die Beanspruchung der nervösen Funktionen bei allen Arten von Geschicklichkeitsarbeiten sein muß.

Das Anlernen einer Geschicklichkeitsoperation beruht im wesentlichen auf der Anbahnung neuer, unter Ausschaltung des Bewußtseins vor sich gehender Steuerungsmechanismen. In der schematischen Darstellung der Abb. 2 sind diese neuen Bahnen durch dicke Pfeile angedeutet. Wenn das Bewußtsein ausgeschaltet werden kann und die nervöse Steuerung im physiologischen Sinn

automatisch erfolgt, dann erreicht die Geschicklichkeit ein Höchstmaß, wobei gleichzeitig auch die nervöse Ermüdung reduziert wird.

Tatsächlich lehren uns die Erfahrung und die experimentellen Forschungen, daß automatisch ausgeführte Arbeiten viel weniger ermüdend sind als Tätigkeiten, die vom Bewußtsein gesteuert werden. Die Aneignung von Automatismen ist somit schon aus diesem Grunde wünschenswert. Geschicklichkeitsarbeiten sind zum größten Teil Leistungen von automatisierten Steuerungen. Dem Bewußtsein fällt dabei die Aufgabe der Konzentration, das heißt der Einschränkung aller nervösen Tätigkeiten auf die Steuerungsleistungen, zu. Auch diese Beanspruchung der Konzentration, die somit eine nervöse Leistung darstellt, führt zu nervöser Ermüdung und kann nicht beliebig lang ausgehalten werden.

Je rascher und je häufiger Bewegungen in der Zeiteinheit ausgeführt werden, um so größer ist die Beanspruchung des Nervensystems wegen der Anforderungen an die Konzentration und wegen der großen Zahl nervöser Steuerungen in der Zeiteinheit. Je kleiner und je delikater das Arbeitsgut, um so größer sind gleichzeitig auch die Anforderungen an die Sinnesorgane, an die visuelle und taktile Wahrnehmung und an die feine Kontrolle des eigenen Verhaltens.

Für delikate Arbeiten, für Beschäftigungen mit hohen Anforderungen an die Geschicklichkeit und für Handarbeiten mit hohen Stückzahlen können wir aus dem Gesagten zur Arbeitserleichterung folgende Rezepte formulieren:

1. Es soll, wenn immer möglich, die Aneignung von Automatismen angestrebt werden.
2. Bei zweihändigen Arbeiten sollen beide Hände ihre Bewegungen gleichzeitig beginnen und gleichzeitig beenden. Diese Arbeitsweise erleichtert wesentlich die automatische Steuerung der Bewegung.
3. Die Hand- und Armbewegungen sollen symmetrisch oder entgegengesetzt verlaufen. Bei kreisförmigen Bewegungen sollen die Richtungen beider Hände entgegengesetzt sein. Auch diese Maßnahme erleichtert die automatische nervöse Steuerung.
4. Es sollen, wenn immer möglich, runde und kreisförmige Bewegungen abrupten oder Zickzackbewegungen vorgezogen werden. Bewegungen mit plötzlichem Start und plötzlicher Bremsung sind schwieriger zu dosieren und fordern eine größere nervöse Leistung als runde, allmählich beginnende und allmählich ausklingende Bewegungen.
5. Geschicklichkeitsoperationen sollen nicht unmittelbar einer Kraftleistung folgen, da die Muskulatur nach einer beanspruchenden Leistung für eine gewisse Zeit ungeschickt bleibt.

5. Die Anpassung der Arbeitszeiten und Arbeitspausen

Das Tempo und die Dauer der Arbeit sind für die Entstehung der Ermüdung von entscheidender Bedeutung. Die Anpassung der Arbeit an den Menschen wirft deshalb auch die Frage des optimalen Rhythmus und damit die der zeitlichen Gliederung der Arbeitszeiten auf.

Arbeitsphysiologische Untersuchungen haben gezeigt, daß der Arbeiter einen feinen Instinkt für den Arbeitsrhythmus bzw. für die zumutbare Beanspruchung hat. So wird beispielsweise bei Verlängerung der Arbeitszeiten automatisch das Tempo gedrosselt, was zu einer Herabsetzung der stündlichen Produktion oder einer Verlängerung der Stückzeiten führt. Deshalb sind Überstunden oder Arbeitszeiten, die mehr als 8 Stunden dauern, unrationell, da nicht nur in der verlängerten Arbeitszeit, sondern auch über den ganzen übrigen Tag verteilt weniger intensiv gearbeitet wird.

Umgekehrt führen Verkürzungen der Arbeitszeit oder Einschaltung von Arbeitspausen automatisch zu einer Erhöhung des Arbeitstempos und somit zu einer Erhöhung der stündlichen Produktion und zu einer Verkürzung der Stückzeiten. Daraus geht hervor, daß der Mensch die Tendenz hat, instinktiv immer ungefähr eine gleiche Tages- oder Wochenproduktion aufzubringen.

Diese Gesetzmäßigkeiten wirken sich jedoch nur dann aus, wenn der Mensch den Arbeitsrhythmus frei wählen kann, also nicht, wenn die Maschine oder das Fließband das Tempo vorschreiben. Ein weiterer Faktor, der diese instinktive Anpassung stören kann, ist die Akkordarbeit, bei welcher oft das Streben nach höherem Gewinn die physiologischen Instinkte dominiert.

Beim Übergang von der 6-Tage-Woche zur 5-Tage-Woche werden vielfach die täglichen Arbeitszeiten von 8 auf 9 Stunden und mehr verlängert. Vom rein betriebstechnischen Standpunkt aus mögen diese Verlängerungen verständlich und gerechtfertigt sein, vom arbeitsphysiologischen Standpunkt aus jedoch nicht.

Ein wesentliches Überschreiten des 8-Stunden-Tages führt bei mittelschwerer und erst recht bei schwerer Arbeit zu einer Ermüdung, die sich in einer Reduktion der stündlichen Produktionsleistungen und in einer erhöhten Unfall- und Krankheitsanfälligkeit äußert. Eine Verlängerung der Arbeitszeit von 8 auf 9 Stunden und mehr pro Tag kann nur bei ausgesprochen leichten Arbeiten oder bei Beschäftigungen mit zahlreichen aufgezwungenen Pausen, die man als arbeitsabhängige Wartezeiten bezeichnet, ohne Nachteil ertragen werden.

Die Beobachtung am Arbeitsplatz zeigt uns, daß kein Mensch längere Zeit intensiv ohne Pausen arbeiten kann. Jeder Arbeiter muß dauernd kleinste und in größeren Zeitabständen auch längere Pausen einschalten. Meistens werden diese Pausen unter irgendeinem Vorwand eingeschaltet, zum Beispiel durch Naseputzen, durch Kleiderordnen oder eine kleine Reinigung an der Maschine oder am Arbeitsplatz. Man nennt diese Pausen deshalb maskierte Pausen.

Bei repetitiven Handarbeiten sind Pausen um so häufiger notwendig, je schneller die einzelnen Bewegungen, je delikater die Operationen und je größer die Anforderungen an die Aufmerksamkeit sind.

Als allgemeine Richtlinien können die Empfehlungen zur Festlegung von Pausen wie folgt zusammengefaßt werden :

1. Bei allen Arten von Arbeiten sind je 1 Verpflegungspause von 10 bis 15 Minuten am Vormittag und am Nachmittag zu empfehlen. Verpflegung und Pause dienen der Erholung und bekämpfen in zweckmäßiger Weise die Ermüdung.
2. Bei Betrieben, die vorwiegend mit Einzelanfertigungen beschäftigt sind und die in der Regel auch viel arbeitsbedingte Wartezeiten aufweisen, genügen die erwähnten Verpflegungspausen, je eine am Vor- und Nachmittag.
3. Für Arbeiten repetitiven Charakters und großer Stückzahl mit mittleren bis hohen Anforderungen an Geschicklichkeit und Konzentration sind für den Vor- und Nachmittag je 1 Verpflegungspause plus je 2 gleichmäßig verteilte Kurzpausen von 5 Minuten empfehlenswert.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit gibt eine Übersicht über die wichtigsten Möglichkeiten der Erleichterungen der Arbeit, wobei sich der Autor im wesentlichen auf die repetitiven Handarbeiten beschränkt, bei denen bekanntlich nicht nur die Muskulatur, sondern auch die nervösen Funktionen (Sinnesorgane, Konzentration, Steuerung der Bewegungsabläufe) beansprucht werden. Es werden die grundlegenden Verschiedenheiten zwischen statischer und dynamischer Muskelarbeit erörtert und daraus 7 Forderungen an die Gestaltung des Arbeitsplatzes abgeleitet. In einem weiteren Kapitel werden die physiologischen Grundlagen der nervösen Bewegungssteuerungen behandelt und 5 Maßnahmen zur Erleichterung von Geschicklichkeitsoperationen aufgezählt. Im letzten Kapitel wird noch die Bedeutung der physiologischen Gliederung der Arbeitszeiten und Arbeitspausen behandelt, das mit konkreten Vorschlägen für die Gestaltung von Arbeitspausen abschließt.

Résumé

L'auteur résume les possibilités de faciliter les travaux industriels manuels en se bornant cependant aux occupations du type répétitif, donc aux occupations qui n'éprouvent non seulement la musculature mais aussi diverses fonctions nerveuses (organes de sens, concentration, habileté des mouvements). Il existe une différence physiologique fondamentale entre les mouvements rythmiques (dynamiques) et le travail musculaire statique. Dans le premier type de travail, la musculature est ravitaillée en sang, tandis que le travail statique empêche l'irrigation sanguine. L'auteur déduit de ces considérations physiologiques quelques recommandations pour l'aménagement d'un poste de travail.

Un autre chapitre traite des problèmes de la régulation nerveuse des mouvements et termine également par 5 recommandations susceptibles de faciliter des travaux d'habileté. Les horaires de travail et les pauses fixés selon des principes physiologiques constituent les moyens les plus efficaces pour prévenir la fatigue. L'auteur termine son travail par quelques recommandations concernant les pauses de travail.