

lebenden Viehs im Schlachthof, des Fleisches unmittelbar nach der Schlachtung und aller Fleischerzeugnisse in den Metzgereien und im Großhandel kann eine bakterielle oder parasitäre Erkrankung erkannt werden. Auch das Personal wird einer hygienischen Kontrolle unterworfen. Die verschiedenen Methoden der Konservierung (Pöckeln, Räuchern, Sieden, Dämpfen, Sterilisieren, Gefrieren) werden ebenfalls behandelt, wie auch die geeigneten Methoden zur Erhaltung der frischen Farbe des Fleisches. Der Autor geht auch auf die verbotenen Zusätze wie Hyposulfit, Farbstoffe und Antibiotica ein und auf die unzulässigen Behandlungsmethoden. Das vorverpackte Fleisch ist nicht konserviert, sondern nur hygienisch und luftdicht verpackt. Die Verabreichungen von Hormonen an Geflügel ist neuerlich verboten worden. Der ganze Fragenkomplex um den Cholesterol-Gehalt kann nur in großen Zügen berührt werden; sicher sind aber alle Fleischerzeugnisse in den Metzgereien in dieser Beziehung einwandfrei. Es wird gewarnt vor kritiklosen Fanatikern, die das Fleisch für zahlreiche Beschwerden verantwortlich machen.

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der Eidg. Technischen Hochschule Zürich  
(Direktor: Prof. Dr. med. E. Grandjean)

## **Ermüdmungsmessungen bei Telephonistinnen während der Nacharbeit**

von *Etienne Grandjean* und *Hans Werner Jaun*, Zürich

### **Einleitung und Fragestellung**

Die Ermüdmungsforschung beginnt mit unserem Jahrhundert, wobei zunächst die Muskulatur, der Energiehaushalt und die Stoffwechselprodukte im Mittelpunkt des Interesses standen [1]. Seit dem Ersten Weltkrieg befaßt sich auch die experimentelle Psychologie mit der Ermüdmung. Diese Forschungsrichtung führte zur Erkenntnis, daß nicht nur körperliche Betätigung, sondern auch rein psychische Vorgänge, wie geistige Arbeit, Interesselosigkeit, Langleweiligkeit, seelische Konflikte usw., zu Ermüdmungszuständen führen können. Nach *Bartlett* [2] ist die Ermüdmung ein Zustand, der zu einer Reduktion der Tätigkeit oder zu unerwünschten Änderungen der Tätigkeiten führt. Für *Bornemann* [3, 4] ist sie die Folge gestörter Wechselbeziehungen innerer Funktionen, die zu Änderungen des Persönlichkeitsgefüges, zur Unfähigkeit, die Zusammenhänge zu überblicken und zum Zerfall des Denkens in einzelne Teilprozesse führe. *Bartley und Chute* [5] fassen die Ermüdmung als Anstrengung des Organismus gegen die Erschöpfung auf. Nach diesen Autoren ist sie im wesentlichen eine Desorganisation der Steuerung des Organismus, was letzten Endes zur Beeinträchtigung des Gesamtverhaltens des Individuums führe. In einer neueren Arbeit von *Bartley* [6] wird auf die Vielgestaltigkeit der Ermüdmungsercheinungen hingewiesen. Die fundamentalen Vorgänge seien physiologischer Natur, während die äußeren Erscheinungen, nämlich die Störungen des Gesamtverhaltens, zum Gebiet der Psychologie gehören. Die Ermüdmung könne verschiedene Organe und Organsysteme betreffen und dementsprechend auch verschiedenartige Symptome auslösen. Wegen der Verschiedenheit der Erschei-

nungen sei es bis jetzt auch nicht möglich gewesen, die Ermüdung als Ganzheit zu erfassen und zu definieren.

Die Forschungen der modernen Neurophysiologie haben in den letzten Jahren ganz neue Einblicke in die zentralnervösen Mechanismen der Ermüdung gegeben. Schon für *Pavlov* [7] war die Ermüdung ein Hemmungsreflex. Er glaubte, daß die einseitige Beanspruchung engumschriebener Hirnrindenbezirke eine innere Hemmung auslöse, die zunächst die beanspruchte Funktion betreffe, um sich bei fortdauernder Beanspruchung über das ganze Gehirn auszubreiten. *Pavlov* stützte diese Auffassung durch Tierexperimente, in denen es ihm gelang, durch länger dauernde Sinnesreize die Tiere zu ermüden und sogar zum Schlafen zu bringen.

Von besonderem Interesse für die Ermüdungsforschung sind die Experimente von *Heß* [8, 9], der mit schwachen elektrischen Strömen engumschriebene Stellen des Zwischenhirns (mediale Teile des Thalamus und verschiedene Partien des Hypothalamus) bei Katzen reizte, um hernach deren spontanes Verhalten zu beobachten. Neben Pupillenverengungen zeigten die Tiere eine Neigung zu häufigem Lidschluß, sie suchten einen geeigneten Platz, nahmen die typische Schlafstellung ein und verfielen nach einiger Zeit schließlich in Schlaf, aus dem sie durch geeignete physiologische Reize jederzeit wieder geweckt werden konnten. Aus dem Verhalten der Tiere muß geschlossen werden, daß die dienzephal Reizung zunächst das Gefühl und die Begleiterscheinungen der Müdigkeit auslösten, die ihrerseits den Übergang in den Schlafzustand einleiteten. Diese Experimente veranlassen uns zur Annahme, daß im Ermüdungszustand sedativ wirkende Einflüsse von dienzephalen Strukturen aus in die ganze Hirnrinde gelangen, wo sie u. a. die für das Müdigkeitsgefühl charakteristische Dämpfung der Psychomotorik bewirken. Gleichzeitig werden die benachbarten vegetativen Zentren im Hypothalamus im Sinne einer Parasympathikotonie umgestimmt.

Eine antagonistische Funktion zu diesen Ermüdungsmechanismen müssen wir heute dienzephalen Anteilen der *Formatio reticularis* zuschreiben, die bekanntlich für den Zustand des Wachseins und für die Reaktionsbereitschaft kortikaler Funktionen verantwortlich sind. Demnach wäre die Ermüdung letzten Endes das Resultat einer Gleichgewichtsstörung zwischen der Aktivität der sedativ wirkenden Strukturen von *Heß* und den die Hirnrinde anregenden Funktionen der *Formatio reticularis*.

Diese neurophysiologische Betrachtungsweise gestattet uns, zahlreiche Formen der Ermüdung (geistige Ermüdung, allgemeine Ermüdung, Ermüdung durch Monotonie usw.) zu verstehen und als ein einheitliches physiologisches Phänomen zu erklären. Einzig die Muskelermüdung, die wir bei hoher Beanspruchung als Muskelschmerz wahrnehmen, läßt sich nicht allein mit den erwähnten zentralnervösen Mechanismen deuten. Deshalb unterscheidet *Grandjean* [10] zwischen Muskelermüdung und nervöser Ermüdung, wobei die letztere

alle Erscheinungsformen, denen die oben erwähnten neurophysiologischen Mechanismen zugrunde gelegt werden können, umfaßt.

Zahlreiche physiologische Untersuchungen haben gezeigt, daß die nervöse Ermüdung tatsächlich von einer Dämpfung kortikal gesteuerter psychomotorischer Funktionen begleitet ist. So konnten *Ryan und Warner* [11] bei berufsmäßigen Autofahrern nach der Arbeit

- eine Erhöhung der Ausgleichsbewegungen beim Stehen,
- eine Herabsetzung der Genauigkeit von Auge-Hand-Koordination,
- eine Verminderung der Akkommodationsfähigkeit des Auges,
- eine Abnahme der Geschwindigkeit und Genauigkeit beim Lösen von Rechenaufgaben

feststellen.

Untersuchungen des *Amerikanischen Gesundheitsamts* [12] ergaben nach langdauernden Fahrten bei 889 Lastwagenchauffeuren

- eine Verminderung der Leistung im Klopfest (maximale Geschwindigkeit der Fingerklopfens je Zeiteinheit),
- eine Verlängerung der einfachen und der Wahl-Reaktionszeit,
- eine Zunahme der Ausgleichsbewegungen beim Ruhighalten der Hand,
- eine Zunahme der Gleichgewichtsbewegungen beim Stehen,
- eine Beeinträchtigung der Aufmerksamkeit,
- eine Abnahme der subjektiven Verschmelzungswellen für intermittierende Lichtreize.

16 weitere getestete psychische und physische Funktionen ergaben dagegen keine gesicherten Änderungen.

In einer Erhebung an 15 Telephonistinnen stellte *Grandjean* [13] nach der Arbeit fest:

- eine Verlängerung der optischen Reaktionszeit um 10%,
- eine Leistungseinbuße in einem Handgeschicklichkeitstest,
- eine Herabsetzung der subjektiven Verschmelzungsfrequenzen um durchschnittlich 2 Hz.

Bei Laboratoriumsuntersuchungen (Mikroskopieren, monokulares Lesen) sowie bei Messungen in Industriebetrieben (Ampullendurchleuchten, Fertigkeiten von Nadeln, Arbeit an Nadelrichtapparaten) beobachteten *Grandjean und Bättig* [14] ebenfalls eine Herabsetzung der Verschmelzungsfrequenzen.

Die Erfassung der Ermüdung bei der Nachtarbeit schien uns von besonderem Interesse, da bekanntlich der Wechsel von Tages- zur Nachtschicht zu Störungen der vegetativ gesteuerten Tag-Nacht-Rhythmen führt. Wir wissen, daß Stoffwechsel und Temperatur nachts reduziert [15], Blutdruck, Pulsfrequenz und Herzschlagvolumen in den Nachmittagsstunden am höchsten und nach Mitternacht am niedrigsten sind [16]; Magen, Darm und Leber setzen nachts ihre Aktivität herab, und die nervösen Funktionen sind träger und ungenauer als am Tage [19].

Bei der Nachtarbeit wird dieser physiologische Rhythmus zunächst gestört. Nach *Kleitman* [17] ist der Organismus erst nach einer Anpassungszeit von mehreren Wochen fähig, am Tage die normale Schlaftiefe zu erreichen und nachts die normale Leistung zu vollbringen. *Menzel* [16] findet trotz länger dauernder Nachtarbeit die übliche Herabsetzung von Temperatur, Pulsfrequenz, Blutdruck und Gallensekretion nach Mitternacht.

Da wir die Möglichkeit hatten, die von *Grandjean* [13] bereits während der Tagesarbeit untersuchten Telephonistinnen auch während ihrer Nachtarbeit zu testen, haben wir versucht, die Ermüdung dieses Berufskollektivs auch während der Spät- und der Nachtschicht zu erfassen.

### Methoden und Versuchsanordnung

Um die Ermüdung der Telephonistinnen zu erfassen, maßen wir während der Spät- und Nachtschichten die Leistungsfähigkeit folgender psychomotorischer Funktionen:

1. *Die Handgeschicklichkeit.* Die Versuchsperson (Vp) hatte einen Stöpsel von 50 mm Länge und 6 mm Durchmesser in die obere Öffnung eines Leichtmetallrohrs von 275 mm Länge und 8 mm lichter Weite einzuführen. Durch geeignete Neigung des Rohrs fiel der Stöpsel nach unten und mußte mit der Hand aufgefangen werden; danach war die Operation sofort zu wiederholen. Die Anzahl Rohrpassagen innert 2 Min. wurde als Maß für die Handgeschicklichkeit notiert.

2. *Die subjektive Verschmelzungsfrequenz.* Für unsere Untersuchungen verwendeten wir ein Lichtblitz-Stroboskop Modell Strobotac (Typ 631-BS 8) der General Radio Company, dessen Lichtblitzdauer von der Größenordnung  $10^{-4}$  s ist. Die Lichtquelle bestand aus einer Kreisfläche von 1 cm<sup>2</sup>. Die Vp saßen 60 cm vor der Lichtquelle und betrachteten diese durch ein Rohr. Durch einen dem menschlichen Gesicht angepaßten Kautschukring wurde das seitliche Eindringen von Licht in das Rohr vermieden. Die Messungen wurden jeweilen bei einer Frequenz von etwa 25 Hz begonnen und mit einer kontinuierlichen Geschwindigkeit von 3 Hz/s so lange erhöht, bis die Vp das Verschmelzen der Lichtblitze angaben. Vor Beginn der Messung ließen wir die Vp sich während 2 Min. an die Dunkelheit des Rohrs adaptieren. Wir verwerteten jeweils den Durchschnitt von 5 hintereinanderfolgenden Messungen.

3. *Die einfache optische Reaktionszeit.* Beim Aufleuchten eines im Abstand von 80 cm in Augenhöhe aufgestellten Signallämpchens hatte die Vp einen Taster zu betätigen. Das Aufleuchten des Lämpchens erfolgte für die Vp unerwartet und in unregelmäßigen Abständen, die zufällig zwischen 2 und 15 s schwankten. Die optischen Reaktionszeiten wurden 5mal hintereinander gemessen und hernach deren Durchschnittswert berechnet.

Als Versuchspersonen (Vp) standen uns Telephonistinnen einer Auskunft- und Fernamtszentrale zur Verfügung.

In der ersten Versuchsserie von 5 Wochen untersuchten wir die Telephonistinnen der Spätschicht, die ungefähr 1mal in 2 Monaten während einer Woche täglich von 18.15 bis 00.15 Uhr ununterbrochen arbeiten mußten. Unsere Messungen erfolgten unmittelbar vor Arbeitsbeginn, von 21.15 bis 21.45 Uhr und nach Arbeitsende. In jeder Woche standen uns 5 Telephonistinnen – insgesamt somit 25 – für die Messungen zur Verfügung.

In der zweiten Versuchsserie untersuchten wir die Telephonistinnen der Nachtschicht, die jeweils von 21.30 bis 06.30 Uhr zu arbeiten hatten. Diese Telephonistinnen hatten 1- bis 2mal je Monat eine solche Nachtschicht, so daß wir jede Vp bloß während einer Nacht messen konnten. Die Messungen erfolgten vor Arbeitsbeginn und morgens nach Beendigung der Nachtschicht. 14 Telephonistinnen standen uns für diesen Versuch zur Verfügung.

## Resultate

Die Prüfung der Handgeschicklichkeit in der Spätschicht ergab im allgemeinen eine Herabsetzung der Zahl der Rohrpassagen, die bereits in den Durchschnittswerten von 21.30 Uhr und etwas deutlicher in denen um Mitternacht erkennbar war. Von den 25 Telephonistinnen zeigten zwischen Arbeitsbeginn und Mitternacht 17 im Durchschnitt eine Abnahme, 5 keine Änderung und 3 sogar eine Verbesserung der Leistung. Die Streuung der Einzelergebnisse war groß, und es konnte lediglich bei 8 Telephonistinnen eine individuelle durchschnittliche Abnahme mit  $p < 0,05$  gesichert werden. Die Differenzen

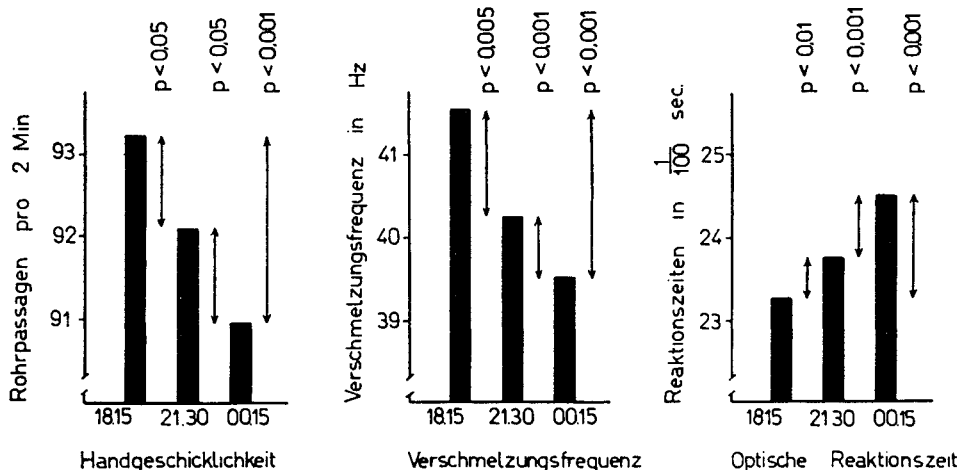


Abbildung 1 Ergebnisse der Ermüdungsmessungen während der Spätschicht. Jede Säule entspricht einem Durchschnittswert von 175 individuellen Messungen, die während je 1 Woche an insgesamt 25 Telephonistinnen erhoben wurden.

der Gesamtdurchschnitte waren mit  $p < 0,05$  und  $p < 0,01$  statistisch gesichert; diese Resultate sind in *Abbildung 1* graphisch dargestellt.

Die durchschnittliche Verschmelzungsfrequenz fiel bei jeder der 25 Telephonistinnen ab. Im Gesamtdurchschnitt betrug der Abfall von 18.15 bis 21.30 Uhr 1,3 Hz und von 18.15 Uhr bis Mitternacht 2,1 Hz. Bei 21 Telephonistinnen war der Abfall der durchschnittlichen Verschmelzungsfrequenz mit  $p < 0,05$  statistisch gesichert. Der Gesamtdurchschnitt aller Telephonistinnen, der ebenfalls in *Abbildung 1* graphisch dargestellt ist, war mit  $p < 0,001$  stark gesichert.

Die Messungen der einfachen optischen Reaktionszeit ließen in der Spätschicht im Durchschnitt bei 23 Telephonistinnen mehr oder weniger deutliche Verlängerungen erkennen, während bei 2 Vp keine Änderung bzw. eine Verkürzung beobachtet wurde. Im Gesamtdurchschnitt betrugen die Verlängerungen 0,5 Hundertstelsekunden bis 21.30 Uhr und 1,2 Hundertstelsekunden bis Mitternacht. Die durchschnittlichen individuellen Verlängerungen konnten bei 9 Telephonistinnen statistisch gesichert werden. Die Gesamtdurchschnittswerte sind in *Abbildung 1* dargestellt; sie sind alle stark gesichert.

Die Ergebnisse der Prüfungen der Handgeschicklichkeit vor und nach der Nachtschicht (21.30 und 06.30 Uhr) sind in *Abbildung 2* wiedergegeben.

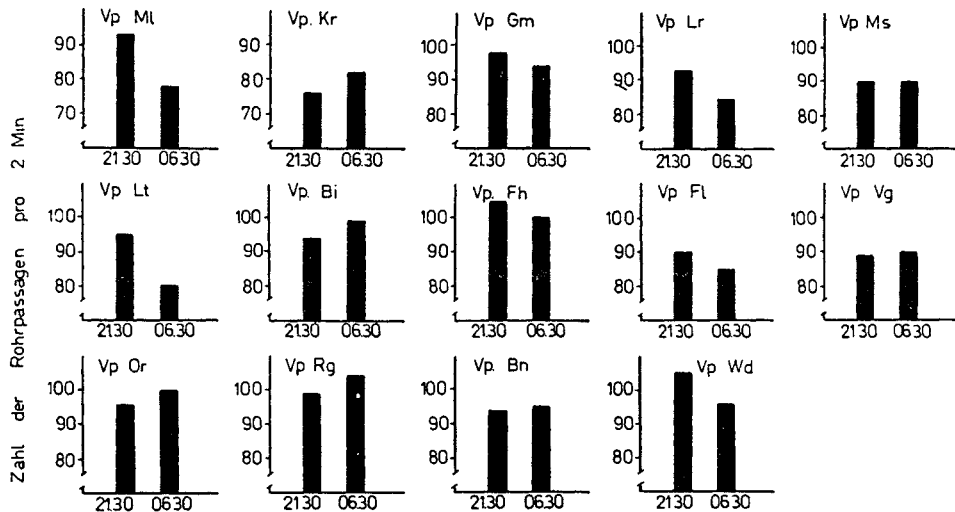


Abbildung 2 Ergebnisse der Handgeschicklichkeitsprüfung vor und nach der Nachtarbeit. Jedes Säulenpaar entspricht den Werten einer Telephonistin, die je einmal vor und nach der Nachtschicht gemessen wurden.

Von den gemessenen Telephonistinnen wiesen 7 am Morgen eine Verschlechterung der Leistungen auf; die andern 7 zeigten entweder keine Änderung oder eine Verbesserung der Leistungen. Die in *Abbildung 5* wiedergegebenen Ge-

samtdurchschnitte lassen keine statistisch signifikante Änderung der Ergebnisse erkennen.

Die Ergebnisse der Messungen der Verschmelzungsfrequenzen vor und nach der Nachtschicht sind in *Abbildung 3* dargestellt.

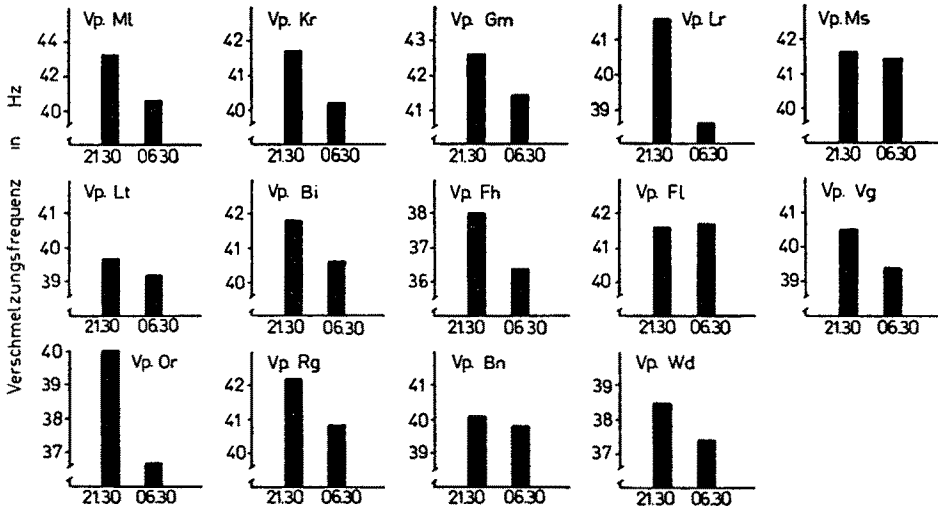


Abbildung 3 *Ergebnisse der Messungen der Verschmelzungsfrequenzen vor und nach der Nachtarbeit.* Jedes Säulenpaar entspricht den Werten einer Telephonistin, die je einmal vor und nach der Nachtschicht gemessen wurden.

Die Ergebnisse der Messungen der optischen Reaktionszeit vor und nach der Nachtschicht sind in *Abbildung 4* wiedergegeben.

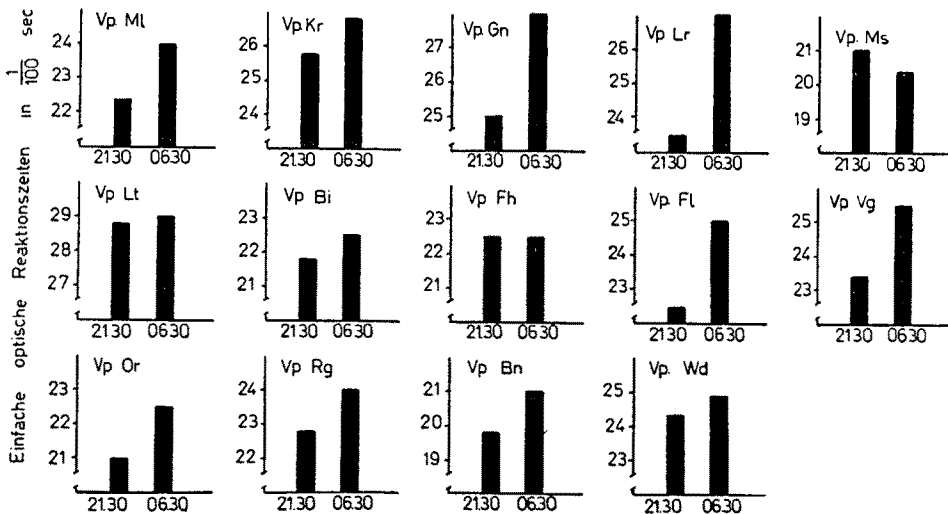


Abbildung 4 *Ergebnisse der Messungen der optischen Reaktionszeit vor und nach der Nachtarbeit.* Jedes Säulenpaar entspricht den Werten einer Telephonistin, die je einmal vor und nach der Nachtschicht gemessen wurden.

11 der 14 Telephonistinnen wiesen am Morgen eine Herabsetzung der Verschmelzungsfrequenzen auf; die 3 übrigen zeigten keine wesentliche Änderung. Die in Abbildung 5 dargestellten Gesamtdurchschnitte zeigen eine Herabsetzung von 1,3 Hz, die statistisch mit  $p < 0,001$  stark gesichert ist.

11 von 14 Telephonistinnen hatten am Morgen längere Reaktionszeiten als am Vorabend; 2 Vp zeigten keine Änderung, und 1 Vp wies eine Verkürzung auf. Die in Abbildung 5 dargestellten Gesamtdurchschnitte der optischen Reaktionszeiten zeigen eine Verlängerung von 1,3 Hundertstelsekunden, die mit  $p < 0,01$  statistisch gut gesichert ist.

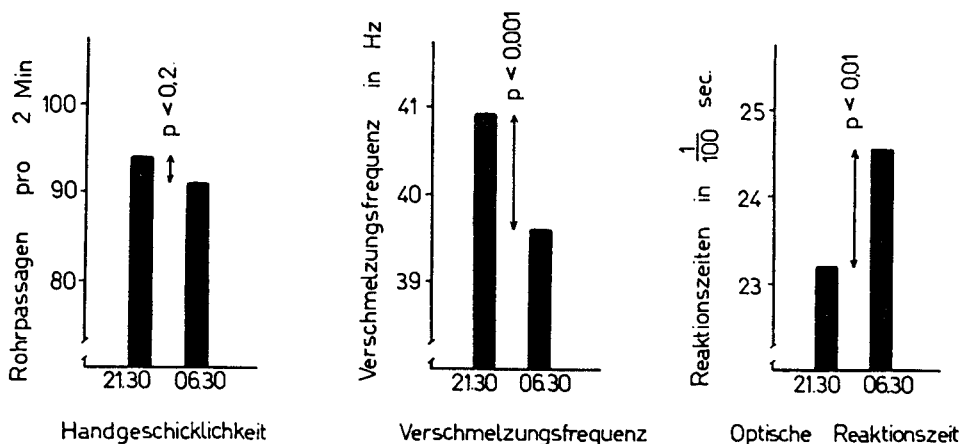


Abbildung 5 Ergebnisse der Ermüdungsmessungen vor und nach der Nacharbeit. Jede Säule entspricht dem Durchschnittswert von 14 individuellen Messungen, die je einmal an 14 Telephonistinnen vorgenommen wurden.

### Besprechung der Ergebnisse

Die Leistungsfähigkeit der Telephonistinnen nahm bei den drei geprüften psychomotorischen Funktionen sowohl während der Spätschicht als auch während der ganzen Nachtschicht ab. Der Abfall der Verschmelzungsfrequenz und die Verlängerung der optischen Reaktionszeit am Ende der Spätschicht lagen beide in der gleichen Größenordnung wie am Ende der Nachtschicht. (Die Messungen der Handgeschicklichkeit konnten wegen der starken Streuung nicht miteinander verglichen werden.)

Im Hinblick auf die eingangs erörterten Wirkungen der Ermüdung auf kortikale Funktionen nehmen wir an, daß die gemessene Beeinträchtigung psychomotorischer Funktionen den Ermüdungszustand der Telephonistinnen widerspiegelt. Diese Ermüdung kann sowohl durch die Arbeit der Telephonistinnen als auch durch die nächtliche trophotrope Umstimmung im Sinne von Heß [9] verursacht sein.

Die Arbeit und die Beanspruchung der Telephonistinnen schienen während der ganzen Spätschicht ungefähr gleich zu sein wie während der Tagesarbeit.

Die vorliegenden Ergebnisse stimmen weitgehend mit Resultaten überein, die *Grandjean* [13] an Telephonistinnen gewann, die am Tage arbeiteten und nachmittags getestet wurden. Diese Beobachtung läßt uns annehmen, daß die intensive Tätigkeit der Telephonistinnen während der Spätschicht keine normale nächtliche trophotrope Umstimmung aufkommen ließ. Daher ergab sich auch während der Spätschicht keine größere Leistungseinbuße der getesteten Funktionen als bei der Tagesarbeit.

Die Leistungseinbußen der gemessenen psychomotorischen Funktionen während der eigentlichen Nachtschicht sind ebenfalls nicht größer als jene der Spätschicht oder der Tagesarbeit. Dies scheint auf den ersten Blick erstaunlich, da man infolge der Monotonie und der zu erwartenden nächtlichen trophotropen Stimmungslage größere Leistungseinbußen erwarten könnte. Tatsächlich ist die Arbeit der Telephonistin während der Nachtschicht zum Teil wesentlich weniger intensiv, da die Anrufe nach Mitternacht bis gegen 5 Uhr morgens seltener sind. In diesem Zeitraum hat die Telephonistin Wartezeiten, die sie zum Teil mit Nebenbeschäftigungen ausfüllt. Dagegen wird sie in der Frühe, kurz vor der entscheidenden Messung, wiederum durch zahlreiche Weckaufträge stark beansprucht. Wir glauben deshalb, daß die besondern Arbeitsbedingungen der Telephonistinnen in der Frühe die Monotonie und die trophotrope Umstimmung antagonisieren, so daß keine größeren Einbußen psychomotorischer Funktionen auftreten können.

Wir müssen aus diesen Betrachtungen den Schluß ziehen, daß unsere Versuchsanordnung (Zeitpunkt der Messungen!) nicht geeignet war, eine durch Monotonie und nächtliche vegetative Umstimmung erzeugte Ermüdung zu erfassen. Wir nehmen an, daß die von uns gemessenen Leistungseinbußen Ermüdungserscheinungen sind, wie sie auch während des Tages infolge der besondern Beanspruchung der Telephonistinnen aufzutreten pflegen.

#### *Zusammenfassung*

Nach einer Erörterung der heutigen Kenntnisse der Ermüdungsvorgänge in neurophysiologischer Sicht werden Methoden und Ergebnisse von Ermüdungsmessungen an Telephonistinnen bei Spät- und Nachtarbeit mitgeteilt.

Die Messungen bei 25 bzw. 14 Telephonistinnen ergaben nach der Spätschicht um Mitternacht bzw. nach der Nachtschicht morgens um 6.30 Uhr:

1. eine durchschnittliche Herabsetzung der Leistungsfähigkeit einer Handgeschicklichkeitsprüfung, die jedoch nur nach der Spätschicht statistisch signifikant war;
2. eine durchschnittliche Herabsetzung der subjektiven Verschmelzungsfrequenzen um 2,1 Hz bzw. 1,3 Hz, die beide statistisch stark gesichert waren;
3. eine durchschnittliche Verlängerung der einfachen optischen Reaktionszeiten um 1,2 Hundertstelsekunden bzw. um 1,3 Hundertstelsekunden, die statistisch stark gesichert waren.

Die gefundenen Leistungseinbußen werden als Ermüdungserscheinungen gedeutet und mit früheren, bereits publizierten Ergebnissen von Ermüdungsmessungen während der Tagesarbeit von Telephonistinnen verglichen.

### Summary

We measured three psychomotor functions of long distance telephone operators during their night-shift, in order to study the physiological symptoms of fatigue during night-work. The tests were carried out on 25 subjects before, during and after a half night-shift ending at midnight, and on 14 subjects before and after a complete night-shift ending early in the morning. The investigations gave the following results:

1. The manual skill test showed in the mean a significant decrease during the half night-shift; the decrease during the whole night-shift was not significant.
2. The flicker fusion frequency decreased in the mean by 2,1 Hz for the half night-shift, and by 1,3 Hz for the whole night-shift. Both changes were significant.
3. The optical reaction time increased in the mean by  $1,2 \frac{1}{100}$  s for the half night-shift, and by  $1,3 \frac{1}{100}$  s for the whole night-shift. Both changes were significant.

The comparison of these results with previous analogous investigations on telephone operators during the day-shift showed that the modifications are in both cases of the same quantitative order.

These results are discussed on the base of present knowledge of neurophysiology.

### Literatur

- [1] *Atzler E.*: Arbeitsphysiologie. I. Teil. *Ergebn. Physiol.* 40 (1938).
- [2] *Bartlett F.*: Psychological criteria of fatigue. In: Symposium on fatigue. London: Lewis 1953.
- [3] *Bornemann E.*: Entwicklungslinien der Ermüdungsforschung. *Mensch und Arbeit* 4, 519-525 (1952).
- [4] *Bornemann E.*: Psychologische Einsichten in das Wesen der Ermüdung. *Ärztl. Praxis* (Bad Wörishofen) 6, 1-11 (1954).
- [5] *Bartley S. H. and Chute E.*: Fatigue and impairment in man. New York: McGraw-Hill 1947.
- [6] *Bartley S. H.*: Fatigue and inadequacy. *Physiol. Rev.* 37, 301-324 (1957).
- [7] *Pavlov J. P.*: Experimentelle Pathologie der höheren Nerventätigkeit. Berlin: Akademie-Verlag 1953.
- [8] *Heß W. R.*: Die funktionelle Organisation des vegetativen Nervensystems. Basel: Benno Schwabe 1948.
- [9] *Heß W. R.*: Symposium über das Zwischenhirn. *Helv. physiol. pharmacol. Acta* 8, suppl. VI (1950).
- [10] *Grandjean E.*: La fatigue nerveuse. *Schweiz. med. Wschr.* 89, 929-932 (1959).
- [11] *Ryan A. H. and Warner M.*: The effect of automobile driving on the reactions of the driver. *Amer. J. Psychol.* 48, 403-421 (1936).
- [12] *U. S. Public Health Service*: Fatigue and hours of service of interstate truck drivers. *Publ. Hlth. Bull.* 265, Washington 1941.
- [13] *Grandjean E.*: Physiologische Untersuchungen über die nervöse Ermüdung bei Telefonistinnen und Büroangestellten. *Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol.* 17, 400-418 (1959).
- [14] *Grandjean E. und Bättig K.*: Das Verhalten der subjektiven Verschmelzungsschwellen des Auges unter verschiedenen Arbeits- und Versuchsbedingungen. *Helv. physiol. pharmacol. Acta* 13, 178-190 (1955).
- [15] *Benedict F. G. und Snell J. F.*: Körpertemperaturschwankungen mit besonderer Rücksicht auf den Einfluß, welchen die Umkehrung der täglichen Lebensgewohnheit beim Menschen ausübt. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 90, 33-72 (1902).
- [16] *Menzel W.*: Zur Physiologie und Pathologie des Nacht- und Schichtarbeiters. *Arbeitsphysiologie* 14, 304-318 (1950).
- [17] *Kleitmann N.*: A scientific solution of the multiple shift problem. *Amer. Mining Congr. J.* 15-16 (1943).