

Objektive und subjektive Ermüdung in experimentellen Monotonie-Situationen^{1, 2}

A. Weber, E. Martin, I. Udris, C. Jermini und E. Grandjean
Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, Eidg. Technische Hochschule, Zürich

1. Einleitung

In einer Untersuchung, die eine monotone Fahr-situation zum Thema hatte, fand Hashimoto [3] eine signifikante Beziehung zwischen der Abnahme der Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF) und der Zunahme der α -Rhythmen im EEG. Dies deutet darauf hin, dass die FVF indirekt die Aktivierung des Zentralnervensystems misst. Weiter haben einige Experimente (Grandjean et al. [1], Weber et al. [6]) eine signifikante Korrelation zwischen der FVF und dem subjektiven Ermüdungsgefühl gezeigt. Zum Beispiel wurde nach Einnahme von 5 mg Valium eine signifikante Korrelation zwischen dem Abfall der FVF und der Zunahme der subjektiven Müdigkeit gefunden. Diese Ergebnisse haben uns veranlasst, zu untersuchen, ob diese Korrelation auch bei einer durch Monotonie erzeugten Ermüdung nachweisbar ist.

2. Methode

Als Reizquelle zur Bestimmung der FVF wurde ein Strobotac-Gerät der Firma General Radio Company, Typ 1531-AB, verwendet. Der durch die Lichtquelle bestimmte Sehwinkel betrug $\frac{1}{3}$ Grad, und die Umgebung des Leuchtfeldes wies eine konstante Leuchtdichte von 400 asb auf, was auch ungefähr der Leuchtdichte der Lichtquelle entsprach. Gemäss den Empfehlungen von Rey und Rey [5] ermittelte man die FVF durch abwechselndes Einstellen höherer und tieferer Frequenz-Werte, wobei deren Differenz nach dem Urteil der Versuchspersonen immer mehr eingeengt wurde, um schliesslich nach 6 bis 8 Einstellungen den Schwellenwert zu erreichen.

Neben der FVF als objektivem Ermüdungsindikator wurde versucht, das subjektive Gefühl der Müdigkeit mit Hilfe eines Fragebogens (Eigenzustandsskala von Nitsch [4]) zu erfassen. Dieser beinhaltet zur Wertung der subjektiven Empfindungen 40 Adjektive. Jedem Adjektiv ist eine 6stufige Skala zugeordnet, worauf der Proband sein augenblickliches Befinden angeben soll.

3. Versuchsplan

Es wurden 2 verschiedene Versuchsanordnungen gewählt: In der ersten (Ruhe-Versuch) wurden 10 Personen je in einer Ruhe- und in einer aktivierenden Situation getestet. In der zweiten Versuchsanordnung wurden 8 Personen je zweimal in einer monotonen (Nägelzählen) und je zweimal in einer aktivierenden Situation geprüft. Jede Sitzung dauerte 3 Stunden. Die FVF wurde zu Beginn und anschliessend nach

¹ Wir danken der Association Suisse des Fabricants de Cigarettes (ASFC) für die finanzielle Unterstützung der vorliegenden Arbeit.

² Gestützt auf ein Referat anlässlich der wissenschaftlichen Tagung der Schweizerischen Gesellschaft für Sozial- und Präventivmedizin, Basel 21./22. Juni 1974.

Eintönige Arbeitsabläufe werden heute in der Industrie nach Möglichkeit vermieden. Hier wird unter standardisierten Grundbedingungen untersucht, inwieweit verschiedene Tätigkeiten zu Ermüdung führen und inwieweit diese Ermüdung durch verschiedene Messmethoden gemessen werden kann.

jeder Stunde gemessen. Am Anfang und am Ende jeder Sitzung hatten die Probanden den Fragebogen über ihr subjektives Befinden auszufüllen.

4. Ruheversuch

4.1. Versuchsbedingungen

Die zwei hier verwendeten Situationen sind wie folgt zu verstehen: Ruhebedingung: sie ist durch möglichst wenig äussere Reize gekennzeichnet und könnte als monoton erlebt werden. Die Versuchsperson ist allein in einem Raum und hat nur einen Liegestuhl zum Ausruhen zur Verfügung.

Aktivierende Bedingung: die Probanden haben verschiedene psychologische Leistungstests (Reaktionstest, Buchstaben-Durchstreichtest, Grid-Tapping, Pursuit-Roater) auszuführen. In der Zeit zwischen den Tests können sie Musik nach freier Wahl hören. Rund 35 % der Zeit war durch Musik und rund 40 % durch Leistungstests belegt, die übrige Zeit wurde für die FVF und den Fragebogen verwendet. Die Leistungstests wurden lediglich zur Aktivierung der Versuchsperson eingesetzt; Resultate wurden keine verwertet.

4.2. Resultate

Die Ergebnisse der FVF wurden mittels einer Streuungserlegung und dem Duncan-Test ausgewertet. Die Mittelwerte der FVF unter den zwei Versuchssituationen sind in Abb. 1 graphisch aufgetragen. Aus dieser Darstellung geht deutlich hervor, dass die FVF in der Ruhesituation signifikant mehr abnimmt als in der aktivierenden Situation ($p < 0,05$). Der Abfall beträgt in der Ruhebedingung im Mittel 1,75 Hz, in der aktivierenden Situation dagegen nur 0,3 Hz.

Da uns in dieser Arbeit die Fragen der Ermüdung in besonderer Masse interessierten, haben wir aus dem Fragebogen von Nitsch die Faktoren «Schläfrigkeit», «Ruhebedürfnis» und «Spannungslage» herausgegriffen. Die Werte zu Beginn und am Ende der Sitzungen haben wir mit einer Streuungserlegung und dem Duncan-Test ausgewertet. Nach Nitsch versteht man unter «Schläfrigkeit» die Schläfrigkeits-, Müdigkeits- und Monotoniezustände, die vor allem auf einen geringen Afferenzpegel zurückzuführen sind. Mit dem «Ruhebedürfnis» misst man die Ermüdung, die aus einer vorangegangenen Beanspruchung resultiert. Die

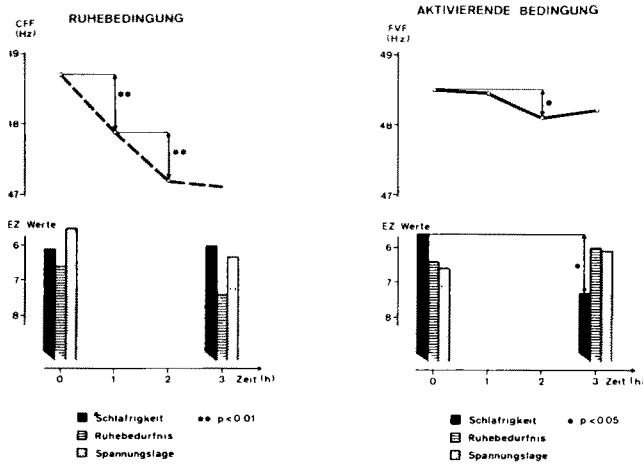


Abbildung 1 Die Flimmerverschmelzungsfrequenz (CFF, FVF) und die Selbsteinstufung des subjektiven Befindens in einer Ruhebedingung bzw. einer aktivierenden Bedingung. EZ-Werte: Skaleneinheit im Selbsteinstufungsverfahren; eine Zunahme der EZ-Werte bedeutet eine Abnahme der Schläfrigkeit, des Ruhebedürfnisses und der Spannungslage, und umgekehrt.

«Spannungslage» schliesslich erfasst die allgemeine Nervosität der Versuchspersonen.

In Abbildung 1 sind die Mittelwerte der Einstufung für diese drei Faktoren zu Beginn und am Ende der Sitzungen aufgetragen. Man erkennt, dass in der Ruhesituation im subjektiven Bereich für keinen der drei Faktoren eine deutliche Veränderung in der Einstufung stattgefunden hat. Man könnte höchstens von einer Tendenz zur Abnahme des Ruhebedürfnisses und der Spannungslage sprechen. Dagegen sieht man, dass in der aktivierenden Situation die Schläfrigkeit abnimmt; der Unterschied ist jedoch nur schwach gesichert. Das Ruhebedürfnis und die Spannungslage bleiben praktisch unverändert. Aus diesen Ergebnissen geht hervor, dass bei den hier gewählten Versuchsbedingungen – im Gegensatz zu der durch Valium hervorgerufenen Ermüdung – keine Übereinstimmung zwischen der subjektiven Ermüdung und der FVF besteht: das Resultat der FVF ist hier sehr deutlich, das subjektive Befinden jedoch weist nur sehr geringe Veränderungen auf.

5. Nägelzählversuch

5.1. Versuchsbedingungen

Wie sich gezeigt hat, war die Ruhebedingung nicht geeignet, ein subjektives Ermüdungsgefühl hervorzurufen. Nach heutigen Auffassungen können wir die Ruhebedingung nicht ohne weiteres als monoton bezeichnen. Nach Hacker [2] u. a. kann Monotonie entstehen, wenn die folgenden Voraussetzungen erfüllt sind: die Arbeit muss einförmig und repetitiv sein, über längere Zeit dauern und den Beobachtungsbereich einschränken. Sie darf jedoch keine vollständige, gedank-

liche Abwendung von der augenblicklichen Tätigkeit erlauben; sie darf aber auch keine Möglichkeit gewähren, sich mit der Tätigkeit geistig auseinanderzusetzen.

Es wurde nun eine Versuchsordnung verwendet, welche diesen Voraussetzungen gerecht sein sollte. Die Versuchspersonen mussten in einem vorgeschriebenen Takt Nägel abzählen, und zwar sukzessive zweimal je 55 Stück und einmal 52 Stück, und in einen Briefumschlag einfüllen. Der Takt wurde durch ein Metronom gegeben. Bei jedem Taktschlag musste ein Nagel gezählt werden. Wir nennen diese Versuchsordnung das Nagelzählen oder die monotone Bedingung.

Die Versuchsordnung mit der aktivierenden Bedingung war dieselbe wie vorher im Ruheversuch (siehe 4.1.).

5.2. Resultate

Die Ergebnisse der FVF und des Fragebogens wurden ebenfalls mittels einer Streuungserlegung und dem Duncan-Test ausgewertet.

In Abbildung 2 sind oben die Mittelwerte der FVF dargestellt. Der Abfall der FVF ist beim Nägelzählen (monotone Bedingung) erheblich ($p < 0,01$) und deutlicher als bei der aktivierenden Bedingung. Der Abfall beträgt im einzelnen beim Nägelzählen 2,3 Hz, bei der aktivierenden Bedingung 0,3 Hz.

Unten auf Abbildung 2 ist die Auswertung der 3 Faktoren «Schläfrigkeit», «Ruhebedürfnis» und «Spannungslage» dargestellt. Sie zeigt bei der monotonen Bedingung, dass die Schläfrigkeit und das Ruhebedürfnis während des Versuches zugenommen haben.

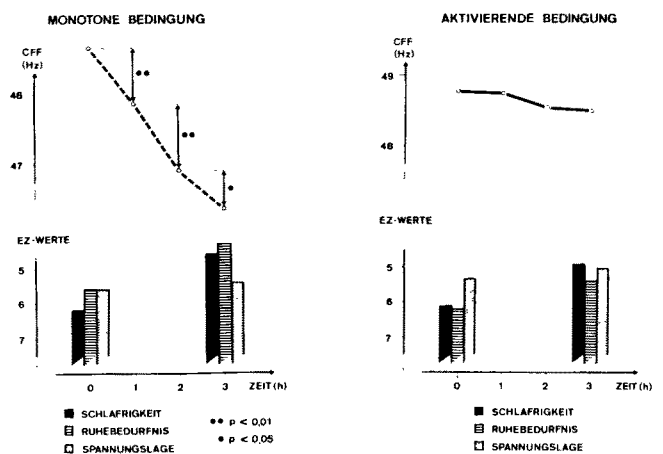


Abbildung 2 Die Flimmerverschmelzungsfrequenz (CFF, FVF) und die Selbsteinstufung des subjektiven Befindens beim Nägelzählen (monotone Bedingung) bzw. in einer aktivierenden Bedingung. EZ-Werte: Skaleneinheit im Selbsteinstufungsverfahren; eine Zunahme der EZ-Werte bedeutet eine Abnahme der Schläfrigkeit, des Ruhebedürfnisses und der Spannungslage, und umgekehrt.

Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Die Spannungslage ändert sich praktisch nicht.

Bei der aktivierenden Bedingung nahmen die Schläfrigkeit und das Ruhebedürfnis ebenfalls zu, jedoch nicht so viel wie bei der monotonen Bedingung. Auch hier war die Differenz nicht signifikant. Die Spannungslage bleibt etwa gleich.

6. Diskussion

In *Tabelle 1* sind die wichtigsten Resultate noch einmal zusammengefasst. Die FVF zeigt beim Valium, in der Ruhebedingung und beim Nägelzählen (monotone Bedingung) eine signifikante Abnahme, während sie in der aktivierenden Bedingung nur unwesentlich abnimmt. Dagegen zeigt der Faktor Schläfrigkeit keine charakteristische Tendenz (siehe *Tabelle 1*). Es besteht offensichtlich bei unseren Versuchsanordnungen keine Übereinstimmung zwischen FVF und den Faktoren «Schläfrigkeit» und «Ruhebedürfnis».

Tabelle 1
Zusammenfassung der Ergebnisse

	Abfall der Flimmer- verschmelzungs- frequenz	Ermüdung im Sinne von Schläfrigkeit
Valium 5 mg	+	+
Ruhebedingung	+	0
Monotone Bedingung	+	(+)
Aktivierende Bedingung	(+)	(+), (-)

+, - = hoch signifikante Veränderung
(+), (-) = nicht oder schwach signifikante Veränderung

Wie wir am Anfang erwähnt haben, war das Ziel der Versuche, die Beziehung zwischen subjektiver Ermüdung und FVF, wie sie z. B. im Valiumversuch (Weber et al. [6]) gefunden wurde, zu bestätigen. Dies gelang jedoch nicht. Es muss deshalb vorläufig bezweifelt werden, ob eine solche feste Beziehung für jede Bedingung (z. B. Valium, Ruhebedingung, Nägelzählen u.a.m.) besteht. Um diese Frage definitiv zu beantworten, müssen noch mögliche Einflüsse näher geprüft werden. So wäre es z. B. möglich, dass ein grosser Teil der Schläfrigkeit verschwindet, sobald der Versuch zu Ende ist, d. h. in dem Moment, wo die Versuchsperson den Fragebogen ausfüllt. Man könnte sich auch vorstellen, dass die Beziehung zwischen subjektiver Ermüdung und FVF komplizierter ist als angenommen, d. h. der psychologische Parameter, die subjektive Ermüdung, könnte differenzierter reagieren als der physiologische, die FVF.

Zusammenfassung

Die Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF) des Auges und das subjektive Befinden sind unter drei Bedingungen an Versuchspersonen gemessen worden. Eine ausgesprochene Ruhebedingung sowie eine eintönig-repetitive Situation (Nägelzählen) haben eine deutliche Abnahme der FVF bewirkt, während eine aktivierende Versuchssituation (Leistungstests und Musik) keine wesentliche Änderung bewirkte. Die Einstufung der subjektiven Ermüdungsempfindungen («Schläfrigkeit», «Ruhebedürfnis») liessen keine eindeutigen Änderungen erkennen. Zwischen der FVF und dem subjektiven Befinden besteht in unseren Versuchen keine Übereinstimmung.

Résumé

La fatigue objective et subjective dans des situations expérimentales de monotonie.

La fréquence critique de fusion de l'œil (FCF) et l'évaluation subjective de la sensation de fatigue ont été étudiées chez des sujets en laboratoire sous trois conditions différentes. Une condition de repos extrême ainsi qu'une situation de caractère uniforme et répétitif (comptage de clous) provoquèrent une chute très marquée de la FCF, tandis qu'une condition stimulante (tests de performance et musique) resta pour ainsi dire sans effet sur la FCF. L'évaluation subjective de la fatigue («sommolence», «besoin de repos») ne montra aucune modification caractéristique. Dans nos expériences, nous n'avons ainsi pas trouvé d'accord entre la FCF et l'évaluation subjective de la fatigue.

Summary

Objective and subjective fatigue in experimentally monotonous situations.

The Critical Flicker Fusion Frequency (CFF) of the eye and the subjective evaluation of fatigue have been laboratory tested under three different conditions. Both an extreme condition of rest and a repetitive and monotonous situation (such as the counting of nails) have resulted in a marked decrease of the CFF, while on the other hand activated test situations (performance tests and music) have not shown any significant effect on the CFF. The subjective evaluation of fatigue (sommolence, need for rest) has not indicated characteristic changes.

Literatur

- [1] Grandjean E. P., Wotzka G., Schaad R. and Gilgen A.: Fatigue and stress in air traffic controllers. *Ergonomics* 14, 159-165 (1971).
- [2] Hacker W.: in H. Kulka: Arbeitspsychologie für die industrielle Praxis. Berlin, DDR, Verlag Technik, S. 131-138, 1968.
- [3] Hashimoto K.: Physiological features of „monotony“ manifested under high speed driving situation. Railway Labour Science Research Institute, Japan National Railways, 1-16 (1969).
- [4] Nitsch J.: Theorie und Skalierung der Ermüdung. Dissertation, Köln 1970.
- [5] Rey P. and Rey J. P.: Effect of an intermittent light stimulation on the critical fusion frequency. *Ergonomics* 8, 173-180 (1965).
- [6] Weber A., Jermini C., Grandjean E. P.: Beziehung zwischen objektiven und subjektiven Messmethoden bei experimentell erzeugter «Ermüdung». *Zeitschrift f. Präventivmedizin* 18, 279-283 (1973).

Adresse der Autoren

A. Weber, E. Martin, C. Jermini und E. Grandjean, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH Zürich, Clausiusstrasse 25, CH-8006 Zürich.
I. Udris, Institut für Verhaltenswissenschaft der ETH Zürich, Turnerstr. 1, CH-8006 Zürich.