

*Lehrstuhl und Institut für Arbeitsphysiologie der Technischen Universität
München (Vorstand: Prof. Dr. med. W. Müller-Limmroth)*

Der Einfluß von Koffein auf die motorische Reaktions- und die visuell-mentale Verarbeitungszeit

H. Krueger, J. Zülch und M. Gendorfer

Mit 6 Abbildungen

(Eingegangen am 23. August 1978)

Mit der Einführung moderner Technologien und zunehmender Automatisierung von Produktionsabläufen wird körperliche Arbeit immer mehr durch nur noch überwachende und steuernde Tätigkeit ersetzt. Vielfach muß unter Zeitdruck eine Fülle optischer und akustischer Informationen aufgenommen und verarbeitet werden. Sinnesorgane und Zentralnervensystem werden gegenüber dem Muskelapparat verstärkt beansprucht, so daß der Anteil der psychisch-mentalnen Belastung des Menschen wächst.

Nachlassende Aufmerksamkeit und Leistungsbereitschaft können mit belebenden Getränken wie Tee oder Kaffee durch zentrale Anregung wieder erhöht und verbessert werden. Deshalb werden koffeinhaltige Getränke an Arbeitsplätzen mit den erwähnten Anforderungen zur Überwindung von Müdigkeit gern und oft getrunken. Es stellt sich die Frage, ob dies zu jeder Zeit der zweckmäßige und richtige Weg zu einer Leistungsverbesserung ist.

Die Wirkung von Koffein hängt nämlich nicht nur von seiner Dosierung, sondern auch von dem jeweiligen Befindenzustand des Menschen ab, in dem Kaffee getrunken wird (11). Disposition, Gewöhnung, Ernährung, Kreislaufzustand, Konstitution und psychophysisches Aktivierungsniveau des Individuums bestimmen den aktuellen Befindenzustand.

Verhaltensparameter, wie Leistungsbereitschaft oder Aufmerksamkeit, werden wesentlich von der Höhe des psychophysischen Aktivierungspiegels beeinflußt, dem wiederum das neuronale Erregungsniveau im Bereich der Formatio reticularis (FR), einer zentralnervösen Umschaltstelle im verlängerten Rückenmark, entspricht (10). Mit steigender retikulärer Aktivität nimmt der Wachheits- und Aufmerksamkeitsgrad des Menschen zu. Das Aktivitätsniveau bestimmt auf diese Weise die Aufrechterhaltung des Bewußtseins und damit die bewußte Wahrnehmung. Ermüdungsvorgänge sind durch sinkende retikuläre Aktivität gekennzeichnet (7).

Koffein steigert das Erregungsniveau in der FR. Nach Experimenten von Krupp, Monier, Stille (6) ist ein direkter Einfluß des Koffeins auf das aufsteigende retikuläre Aktivierungssystem im Tierversuch nicht nachzuweisen. Dagegen wird das mediothalamische Dämpfungssystem durch

Koffein gehemmt, das eine hemmende Wirkung auf die Hirnrinde ausübt. Auf diese Weise können sich erregende Impulse ungehindert auf die kortikalen Felder ausbreiten. Hieraus wird verständlich, daß Koffein sowohl auf den sensorischen wie auf den motorischen Teil des ZNS wirkt. Wie Völker u. Mitarb. (12) in Versuchen ermittelt haben, senkt Koffein die sensorischen und vegetativen Reizschwellen. Im Hinblick auf die Koffeinwirkung ist der Sehapparat genauer untersucht worden. Koffein steigert das sensorische zeitliche Auflösungsvermögen für Sinneseindrücke, z. B. für die Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF). Die FVF wird nur bei Ermüdeten angehoben (11). In der Netzhaut des Auges regt Koffein Hemmungsprozesse an. Dadurch wird das Erregungsmuster besser auf den belichteten Bezirk abgegrenzt. Die retinale Sehschärfe ist somit verbessert, was in der Kontrastwahrnehmung und im Formerkennen zum Ausdruck kommt (8). Im motorischen System wird durch Koffein der gesamte Nerv-Muskel-Apparat aktiviert. Mit steigendem retikulärem Pegel ist eine Muskeltonuserhöhung zu beobachten, die sich bei sehr hoher Aktivität als Muskelverspannung auswirken kann. Nach Fischbach (3) kann Koffein keine echte muskuläre Leistungssteigerung bewirken. Die in experimentellen Untersuchungen festgestellten körperlichen Leistungssteigerungen werden oft auf die Beseitigung der Ermüdung, daher auf eine zentrale Koffeinwirkung, zurückgeführt (2). Das vegetative Nervensystem erfährt in der Hauptwirkphase des Koffeins eine Tonusverschiebung zur Sympathikotonie (ergotrope Wirkung). Koffein kann also über die Mobilisierung von Reserven als ein „Ermüdungsverzögerer“ bezeichnet werden (11).

Fragestellung

Koffein ist in zahlreichen leistungspychologischen Testverfahren untersucht worden. Häufig wurde der Einfluß des Koffeins auf die motorischen Reaktionszeiten des Menschen geprüft. In einfachen Versuchsanordnungen wurden z. B. das schnelle Betätigen eines Hebels bei Aufleuchten einer Lampe oder im Finger-Klopf-Test hohe Geschwindigkeiten verlangt oder die Treffsicherheit bei Geschicklichkeitsübungen beobachtet. Abhängig von der Dosierung wurde mit Koffein eine Verbesserung der Leistung gefunden. Testsysteme mit höheren Anforderungen erbrachten unterschiedliche Resultate. Auch hier ließ sich eine quantitative Abhängigkeit der Koffeinwirkung erkennen (2).

Die Dosisabhängigkeit der Koffeinwirkung lässt sich im Experiment ohne weiteres ermitteln. Schwieriger gestaltet sich eine Untersuchung des Einflußfaktors „Ausgangs- oder Befindenzustand“, der zusammenfassend die aktuelle Disposition des Menschen charakterisiert.

Der Befindenzustand des Menschen gilt als die bestimmende Variable, die bei gleicher Dosierung die Vielfalt der Koffeinwirkung verursacht.

Abhängig von der biologischen Tagesrhythmus ergeben sich aus der Veränderung der vegetativen Lage des Individuums Dispositionsschwankungen und damit unterschiedliche Ausgangslagen für den Versuch. So hat die Leistungsbereitschaft des Menschen am Vormittag ein Maximum, ein zweiter niedriger Gipfel findet sich am frühen Abend, während sie in der Nacht auf ihr Minimum abfällt (4).

Am Vormittag bei hoher physiologischer Leistungsbereitschaft im Befindenzustand „wach“ sollte Koffein beim nicht überlasteten Men-

schen eine Leistungsverbesserung bringen. Liegt dagegen ein Zustand hoher physiologischer Aktivierung vor, könnte Koffein durch Übersteuerung (Überwachtheit) die Leistung mindern und unerwünschte Nebeneffekte wie Gereiztheit und Verspannung hervorrufen (5, 9). Dies wird besonders dann eintreten, wenn zusätzliche Belastungen wie z. B. Lärm hinzukommen.

In der Nacht, einer Phase verminderter Leistungsbereitschaft, wäre zu erwarten, daß durch Koffein diese wieder anzuheben wäre. Im Befindenzustand „müde“ kann eine Erhöhung des psychophysischen Aktivitätsniveaus aber ebenfalls in den Bereich der Übersteuerung führen, so daß der stimulierende Effekt des Koffeins nicht gezielt einer Leistungsverbesserung zugute kommt.

Steuerungs- und Überwachungstätigkeiten enthalten als wesentliche Grundelemente motorische Reaktionen und visuelle, mentale Aufgaben. Aus arbeitsphysiologischer Sicht muß deshalb die Kenntnis der Wirkung von Koffein auf solche Grundelemente bei verschiedenen Leistungsanforderungen und Befindenzuständen („wach“, „müde“) großes Interesse finden.

Methodik

Für die Untersuchung wurden zwei Elemente steuernder und überwachender Tätigkeit gewählt. Es sind dieses einmal eine motorische Reaktion, für die als operationales Maß die Reaktionszeit (RT 1) gewählt wurde. Zum anderen ist es die visuell-mentale Verarbeitungszeit für ein Testzeichen, das nur begrenzte Zeit dargeboten wird. Als operationales Maß hierfür hat sich die Zeit (RT 2) bewährt, die zwischen Beginn der Darbietung und gesprochener Wiedergabe vergeht. Diese Zeit umfaßt das Wahrnehmen und Erkennen der Testzeichen bis zur anschließenden Artikulation des Gesehenen. Motorisches und visuelles Arbeitselement folgen zyklisch aufeinander.

Abbildung 1 zeigt die Signalfolge der Testanordnung zusammen mit den geforderten Reaktionen der Probanden. Jeder Zyklus beginnt mit einem Tonreiz (1 kHz, 100 ms Dauer). Daraufhin muß eine Fußtaste betätigt werden, die mit 100 ms Verzögerung anschließend die Darbietung des Testzeichens auslöst. Als Testzeichen werden randomisierte Reihen von jeweils 4 mit Karbonband auf Papier geschriebene Großbuchstaben (Typ Orator, IBM) verwendet. Sie wurden für 30 ms dargeboten.

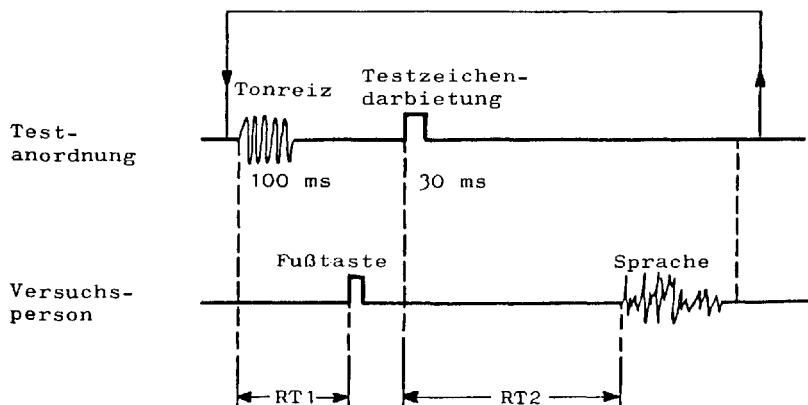


Abb. 1. Signalfolge der Testanordnung.

Die Abfolge der Meßzyklen wird von der Versuchsperson selbst bestimmt. Nach Sprechende wird um 100 ms verzögert ein neuer Signalton ausgelöst. Damit wird neben den Reaktionszeiten auch die Lesegeschwindigkeit zum bewerteten Versuchsparameter. Langsames Sprechen verzögert die Zyklusfrequenz. Als weiterer Bewertungsmaßstab wird die Zahl der Lesefehler herangezogen. Für die Aussage wird die Methode der erzwungenen Wahl angewendet, d. h., nachträgliche Korrekturen werden nicht gestattet.

Versuchsbedingungen

Um die Wirkung von Koffein in grundsätzlich verschiedenen Befindenszuständen, also bei unterschiedlicher Leistungsbereitschaft, durchführen zu können, fanden die Sitzungen am Morgen und um Mitternacht statt. In zusätzlichen Versuchen wurde zur Steigerung der Anforderungen an das Konzentrationsvermögen der Probanden über Kopfhörer Störsprache zugespielt, die aus den gleichen Buchstabenfolgen bestanden wie die zu lesenden, allerdings in veränderter Reihenfolge. Die Lautstärke war so groß eingestellt, daß die Probanden ihre eigene Stimme kaum noch hörten. Zur Vermeidung einer Gewöhnung an die Störsprache wurde diese während der Sitzung in 5-Minuten-Intervallen ein- und ausgeschaltet.

Die Versuche wurden im Doppelblindverfahren mit und ohne Koffein durchgeführt. Vor den eigentlichen Versuchen lagen jeweils zwei Leerver suchen. Nach diesen Vorversuchen kann aufgrund früherer Untersuchun-

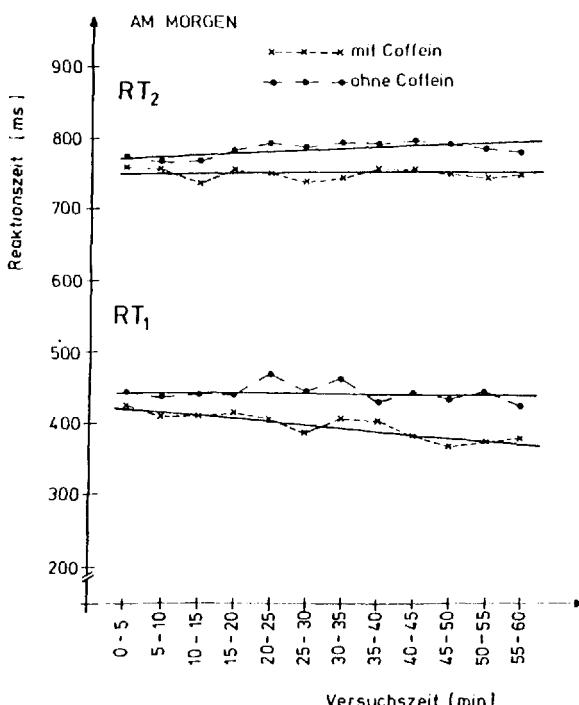


Abb. 2. Verlauf der Reaktionszeiten während der Versuchsdauer, auf den Leerver such normierte Werte aller 12 Versuchspersonen.

gen bei fehlender Rückkopplung über das Versuchsergebnis damit gerechnet werden, daß die Lernphase abgeschlossen ist.

Als Probanden nahmen 5 weibliche und 7 männliche Personen im Alter zwischen 22 und 32 Jahren an den Versuchen teil, 2 von ihnen an den Versuchen mit Störeinfluß. Alle Versuchspersonen waren klinisch unauffällig. Das Sehvermögen war normal bzw. voll korrigiert.

Jeweils 20 g koffeinhaltiger oder -freier, gemahlener Röstkaffee wurden mit 280 ml Wasser zu 2 Tassen Kaffeegetränk aufgebrüht, die schwarz und ungesüßt getrunken wurden, um eine Resorptionsverzögerung auszuschließen. Die verabreichte Menge Koffein je Versuch betrug 200 mg, was einer durchschnittlichen Dosierung von 3 mg/kg Körpergewicht entsprach.

Der Test begann 30 Minuten nach Einnahme des Getränkes. Eine kurze Einübung wurde gestattet; der eigentliche Leistungstest dauerte jeweils 60 Minuten.

Ergebnisse

Die Werte für motorische Reaktionszeit, mentale Verarbeitungszeit, Lesegeschwindigkeit und Lesefehler zeigen für die einzelnen Versuchspersonen große interindividuelle Unterschiede. So reichen z. B. die Werte der mentalen Verarbeitungszeit von 580 ms bis zu 1160 ms im anderen Extrem. Deshalb wurde eine Normierung der individuellen Ergebnisse

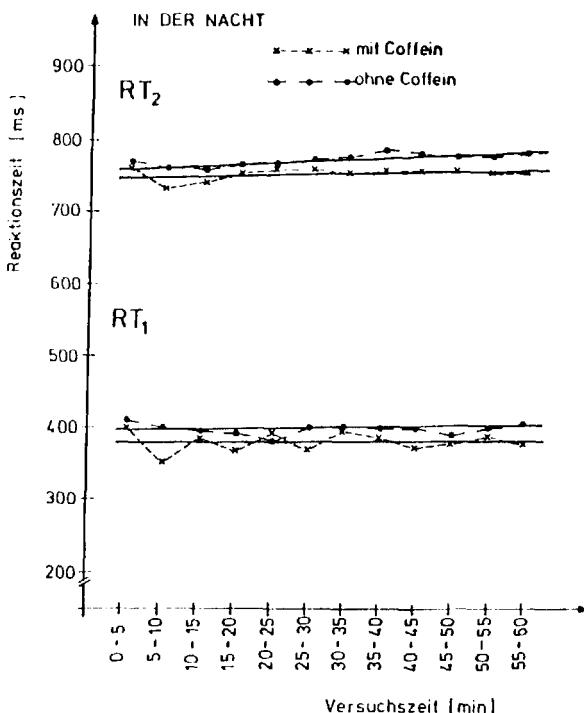


Abb. 3. Verlauf der Reaktionszeiten während der Versuchsdauer, auf den Leerversuch normierte Werte aller 12 Versuchspersonen.

vorgenommen. Für die Parameter wurden intraindividuelle Normwerte aus den jeweiligen Leerversuchen ermittelt. Alle Meßwerte der Hauptversuche wurden durch diesen Normwert dividiert. Das Gesamtergebnis der 12 Probanden errechnet sich als Mittelwert der normierten Werte, multipliziert mit dem Mittelwert der individuellen Normierungsfaktoren. In den Abbildungen ist das Ergebnis dieser gewichteten Mittelwertbildung dargestellt.

In Abbildung 2 und 3 sind der Verlauf der motorischen Reaktionszeit RT1 und der mentalen Verarbeitungszeit RT2 mit fortschreitender Versuchsdauer jeweils für koffeinfreien und koffeinhaltigen Kaffee dargestellt.

Koffein bewirkt generell während der gesamten Versuchsdauer im Mittel eine Verkürzung der motorischen Reaktionszeit (RT1) und der mentalen Verarbeitungszeit (RT2). Die Verbesserung ist nachts allerdings wesentlich geringer ausgeprägt als in den Versuchen am Morgen im Befindenzustand „wach“.

In den Sitzungen mit koffeinfreiem Kaffee ändert sich RT1 während des Versuchs nicht. Die Leistung bleibt gleich. Während Koffein des

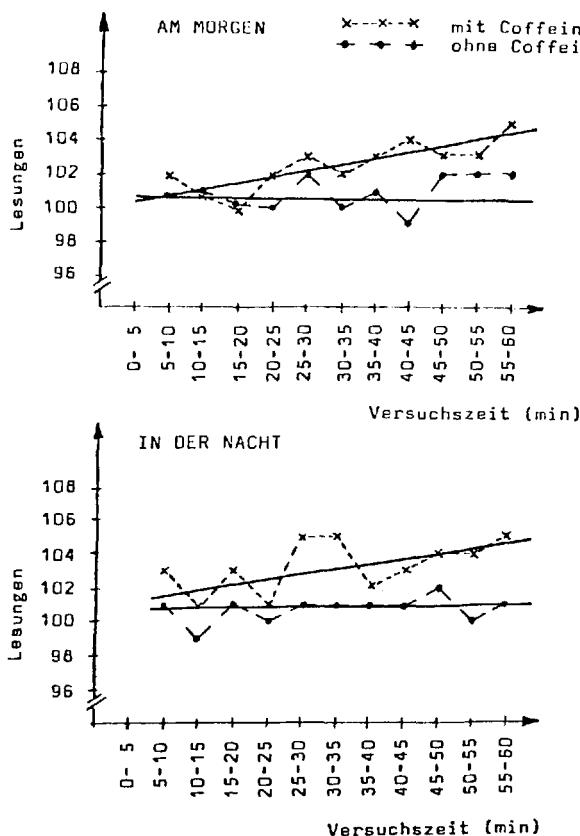


Abb. 4. Verlauf der Lesegeschwindigkeit während der Versuchsdauer, auf den Leerversuch normierte Werte aller 12 Versuchspersonen.

Nachts den Verlauf von RT1 ebenfalls nicht ändert, bewirkt es am Morgen ein stetiges Absinken von RT1. Die mentale Verarbeitungszeit RT2 steigt ohne Koffein entsprechend wachsender Ermüdung mit zunehmender Versuchsdauer stetig an. Koffeinhaltiger Kaffee führt im Verlauf zwar nicht zu einem Absinken von RT2, er verhindert aber eine Ermüdung, die sich im Ansteigen der Zeiten äußern würde.

Die mittlere Lesegeschwindigkeit (Abb. 4) steigt unter Koffein sowohl morgens wie nachts über der Versuchsdauer an. Im Befindenzustand „wach“ ist der Anstieg deutlicher als im ermüdeten Zustand. Mit koffeinfreiem Kaffee bleibt die Lesegeschwindigkeit während des Versuchs unabhängig vom Befindenzustand im Mittel etwa konstant.

Die Zahl der Lesefehler wird durch Koffein nicht verändert (Abb. 5). Daraus kann geschlossen werden, daß Koffein die Genauigkeit der mentalen Verarbeitung nicht beeinflußt. Die Kurven verlaufen sehr uneinheitlich mit starken Schwankungen.

Versuche mit Störeinfluß

Unabhängig von der Koffeinwirkung zeigte sich, daß beide Probanden in den Versuchsperioden *mit Störsprache kürzere visuell-mentale Verar-*

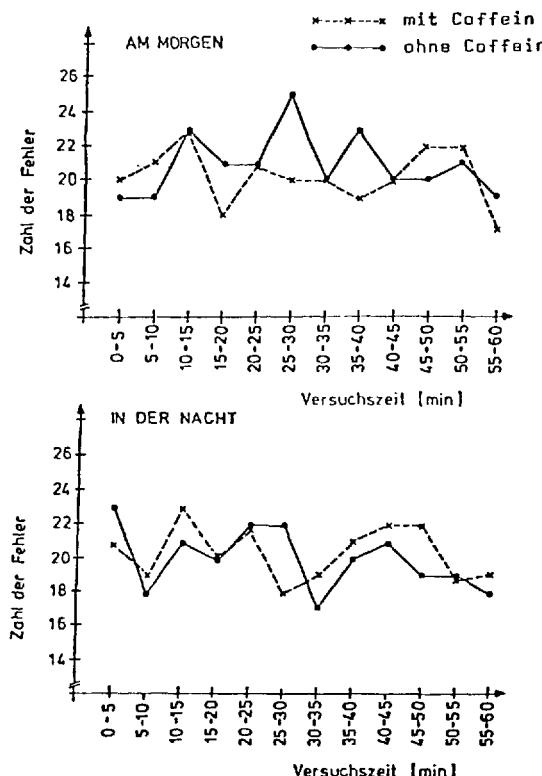


Abb. 5. Verlauf der Fehler während der Versuchsdauer, auf den Leerversuch normierte Werte aller 12 Versuchspersonen.

beitungszeiten hatten als in den Abschnitten ohne Störeinfluß. Dies läßt darauf schließen, daß trotz der akustischen Störung die notwendigerweise erhöhte Anforderung an die Konzentration eine verbesserte Leseleistung bewirkte.

Die motorischen Reaktionszeiten dagegen waren unter Einfluß der Störung länger als ohne Störsprache und stiegen generell während der Versuchsdauer an, was auf eine stärkere Ermüdung der Versuchspersonen als bei den übrigen Versuchen hindeutet.

Koffein zeigte unter Störeinfluß eine uneinheitliche Wirkung. Nur jeweils in einer Meßreihe verkürzte koffeinhaltiger Kaffee einmal die motorische, ein andermal die mentale Verarbeitungszeit. Auf Lesefehler und Lesegeschwindigkeit zeigte Koffein keinen wesentlichen Einfluß.

Diskussion

Mit der „psychologischen Aktivierungstheorie“ nach *Duffy* (1) lassen sich die unterschiedlichen Koffeinwirkungen und ihr Zusammenhang mit verschiedenen Befindenzuständen des Individuums anschaulich darstellen. Nach dieser Theorie hängen das Verhaltensmaß (Erlebnis- und Verhaltensparameter) nach einer umgekehrt U-förmigen Funktion vom „psychophysischen Aktivierungs niveau“ ab (10). Dieses korreliert mit dem neuronalen Aktivitätspegel in der *Formatio reticularis* (7, 9).

Berücksichtigt man die Erkenntnisse von *Graf* (4, 5), nämlich die Abhängigkeit der Leistungsbereitschaft und damit der Leistungsfähigkeit von der Tagesrhythmisik, also auch vom Befindenzustand, so läßt sich ein Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit bzw. der erbrachten Leistung und der psychophysischen Aktivität herstellen.

In Abbildung 6 sind Leistungskurven für verschiedene Befindenzustände dargestellt. Auf der Ordinate ist die erbrachte Leistung aufgetragen. Unter Leistung ist hier die Zusammenfassung der vier in der Untersuchung gemessenen Parameter motorische Reaktionszeit, mentale Verarbeitungszeit, Lesefehler und Lesegeschwindigkeit zu verstehen. Die Abszisse gibt den psychophysischen Aktivitätspegel an und ist in 3 Bereiche eingeteilt. Der Normalbereich entspricht dem Wachzustand, eine sub-

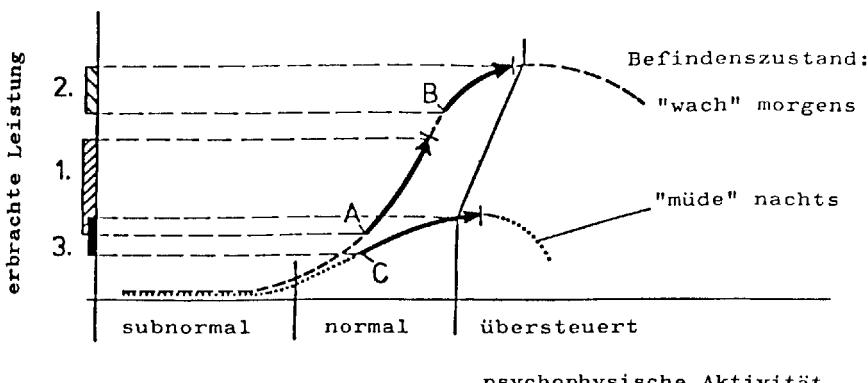


Abb. 6. Leistungskurven für verschiedene Befindenzustände. A, B, C = Arbeitspunkte für verschiedene Versuchsbedingungen.

normale Aktivität wird in diesem Vorstellungsmodell einem schlafähnlichen Zustand zugeordnet, der Übersteuerungsbereich kennzeichnet einen Zustand von Überreizung und Verspanntheit mit weiteren leistungsmindernden Faktoren.

Die steiler ansteigende Kurve (gestrichelt) gilt für den Befindenzustand „wach“ am Morgen, die flacher verlaufende (gepunktet) für den Zustand „müde“ in der Nacht. Beide Kurven durchlaufen ein Maximum.

Es wird deutlich, daß eine Erhöhung der psychophysischen Aktivität um ein bestimmtes Maß auf der „Wach“-Kurve eine große Leistungssteigerung bewirkt, während die gleiche Aktivitätserhöhung auf der „Müde“-Kurve nur mäßig leistungssteigernd wirkt. Der Aktivitätsüberschuß kommt im ermüdeten Zustand also nicht so sehr gezielt einer Leistungsanhebung zugute, sondern äußert sich eher z. B. in motorischer Unruhe und „Nervosität“.

Die Punkte A, B und C geben die Ausgangsbedingungen für die Versuche unter den verschiedenen Bedingungen ohne Koffein an. Die Punkte A und C für die Morgen- und Nachtversuche liegen im mittleren Bereich der jeweiligen Leistungskurve, Punkt B bezieht sich auf die Versuche unter erschwerten Bedingungen.

Vergleicht man die Wirkung von koffeinhaltigem mit der von koffeinfreiem Kaffee in den verschiedenen Ausgangssituationen, so lassen sich die Einzelergebnisse folgendermaßen zusammenfassen:

1. Im Befindenzustand „wach“ am Morgen (Punkt A, gestrichelte Kurve) wirkt koffeinhaltiger Kaffee in allen Parametern, bis auf die Fehlerzahl signifikant leistungssteigernd (vgl. Abb. 2 und 4). Übersteuerung wurde nicht beobachtet.
2. Durch die zusätzlich erschwerten Versuchsbedingungen mit massivem akustischen Störeinfluß wurde der Arbeitspunkt von A nach B verschoben, was einer erhöhten Leistungsabgabe, verglichen mit den Normalbedingungen, entsprach. In diesem Bereich hoher Aktivität verbesserte koffeinhaltiger Kaffee die Leistung nur in geringem Ausmaß. Auch von B aus wirkte Koffein keine Übersteuerung.
3. Im Befindenzustand „müde“ läßt sich auch durch eine hohe Aktivitätssteigerung nur ein geringer Leistungszuwachs erzielen (Punkt C). Tatsächlich führt koffeinhaltiger Kaffee nachts nur zu einer unwesentlichen Leistungsverbesserung (vgl. Abb. 3 und 4). Bei einigen Versuchspersonen war bei einzelnen Parametern wie den Lesefehlern und der Lesegeschwindigkeit unter Koffein sogar eine Leistungseinbuße zu beobachten.

Schlußfolgerungen

Im normalen Aktivitätsbereich und Befindenzustand „wach“ wirkt koffeinhaltiger Kaffee allgemein leistungssteigernd. Bei Ermüdung ist das Leistungsniveau durch Koffein nur wenig anzuheben, oder es besteht die Gefahr bei erhöhter Dosierung den Bereich der Übersteuerung schnell zu erreichen. In dieser Situation ist deshalb *kaffeefreier* Kaffee eher zu empfehlen. Auch unter erschwerten Bedingungen, die bei starkem Störeinfluß hohe Anforderungen an die Konzentrationsfähigkeit stellen, sollte auf koffeinhaltigen Kaffee verzichtet und kaffeefreier Kaffee gewählt werden, da es hier ebenfalls schneller zur Übersteuerung und damit zum

Leistungsabfall kommen kann. Daß es in den Versuchen nur bei wenigen Parametern einzelner Probanden zu Übersteuerungseffekten kam, läßt sich damit erklären, daß bei jungen, gesunden Personen, aus denen das Versuchspersonenkollektiv bestand, offensichtlich die Koffeinwirkung in der gewählten Dosierung nicht hoch genug war, die Übersteuerung zu erreichen. Hier wäre deshalb eine ergänzende Untersuchung an einem ausgesuchten Kollektiv von Personen in einer höheren Altersgruppe und einer vegetativ weniger stabilen Ausgangssituation sinnvoll.

Zusammenfassung

In einer Doppelblindstudie wurden an 12 Probanden im Alter von 22 bis 32 Jahren die Wirkung von koffeinhaltigem und koffeinfreiem Kaffee für zwei Befindenszustände „wach“ und „müde“ untersucht. Bei gleicher Dosierung von 200 mg Koffein wurden die Parameter motorische Reaktions-, die visuell-mentale Verarbeitungszeit sowie die Lesegeschwindigkeit und die Lesefehler registriert. Zusätzlich wurden Messungen unter erschweren Bedingungen durchgeführt. Im Befindenszustand „wach“ am Morgen wirkt koffeinhaltiger Kaffee bis auf die Lesefehler in allen Parametern signifikant leistungssteigernd. Nachts, im Befindenszustand „müde“, bewirkt koffeinhaltiger Kaffee nur eine unwesentliche Leistungsverbesserung. Bei den Parametern Lesegeschwindigkeit und Lesefehler ist mit Koffein bei einzelnen Versuchspersonen eine Leistungseinbuße feststellbar. Auch unter Versuchsbedingungen mit erhöhten Anforderungen durch akustischen Störeinfluß war unter Koffein keine Leistungserhöhung gegenüber koffeinfreiem Kaffee zu beobachten. Eine Übersteuerung in den Bereich abnehmender Leistung bei zunehmender Aktivität fand unter keiner Versuchsbedingung statt.

Summary

The effect of coffee without and with caffeine (200 mg) on the performance of "awake" respectively "fatigued" subjects was proved. 5 females and 7 males (22 to 32 years) were chosen for the cross-over double-blind study. Motor reaction time, visual-mental processing time, reading-speed and reading-errors were recorded. Further experiments under aggravated conditions were carried out. In the morning ("awake") caffeine increases the efficiency of all parameters excepted the reading errors. At night ("fatigued") the increase by caffeine is insignificant. Even in some subjects caffeine decreases the speed of reading and increases the number of errors. Under test-conditions, which were aggravated by strong acoustical disturbance, caffeine does not improve efficiency, compared with caffeine-free coffee. Overriding into the range of decreasing performance in spite of increasing central activity was not found under any test-condition.

Literatur

1. *Duffy, E.*, Activation and behavior (New York-London 1962). – 2. *Eichler, O.*, Kaffee und Koffein (Berlin, Heidelberg u. New York 1976). 3. *Fischbach, E.*, Koffein in sportärztlicher Sicht. In: Alkohol und Koffein, Bd. 17, 159–161 (Darmstadt 1970). – 4. *Graf, O.*, Arbeitsphysiologie (Wiesbaden 1960). – 5. *Graf, O.*, Arbeit und Pharmaka. In: Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin. Hrsg.: *E. W. Baader* u. a. Bd. 1 512–553 (1961). – 6. *Krupp, P.*, *M. Monnier*, *G. Stille*, Topischer Einfluß des Koffeins auf das Gehirn. Naunyn-Schmiedeberg's Arch. exp. Path. u. Pharmacol. 235, 381–394 (Leipzig 1959). – 7. *Müller-Limmroth, W.*, Anatomische und physiologische Grundlagen: Nervensystem. In: Ergonomie, Bd. 1, 91–114. (1973). Hrsg.: *H. Schmidke*, München. – 8. *Müller-Limmroth, W.*, Die Wirkung des Kaffees auf die Sinnesfunktionen und die zentralnervösen Steuerungsmechanismen. In: Z. Ernährungswiss.

Bd. 15, 132–142 (1976). – 9. Müller-Limmroth, W., H. Strasser, Vergleichende Untersuchungen über die Wirkung von Koffein und Chlorogensäure auf die Psychomotorik des Menschen. In: Ärztl. Forschg. 25, 209–217 (1971). – 10. Pawlik, K., Die psychologische Untersuchung der erlebten Kaffeewirkung. In: Z. Ernährungswiss. Bd. 15, 92–108 (1976). – 11. Selbach, H., Koffein, vegetative Regulationen und Zentralnervensystem. In: Koffein und andere Methylxanthine, 21–54, Hrsg.: Heim, F. (Stuttgart 1969). – 12. Völker, R., O. Eichler, S. Mulch-Völker, Experimentelle Studien zur Frage des Verhaltens sensorischer und vasokonstriktorischer Reizschwellen. In: Ärztl. Forschg. 11, 598–603 (1964).

Für die Autoren:

Dr. H. Krueger, Lehrstuhl und Institut für Arbeitsphysiologie der Technischen Universität München, 8000 München