

Institut für Arbeitsphysiologie der Technischen Universität München

Die Wirkung des Kaffees auf die Sinnesfunktionen und die zentralnervösen Steuerungsmechanismen*)

W. Müller-Limmroth

(Eingegangen am 25. Juli 1975)

Im Jahre 1777 schrieb *Zimmermann* in seinem Buch „Von der Erfahrung der Arzneikunst“, daß eine junge Schweizerin, von der *Rousseau* gesagt habe, sie verbinde mit dem Kopf eines *Leibniz* die Feder eines *Voltaire*, ihm mitgeteilt habe, daß sie ohne Kaffee den Verstand einer Auster habe. Das ist ein Hinweis dafür, daß *Zimmermann*, der selbst täglich 2 Tassen Kaffee trank, die Erkenntnis hatte, daß Kaffee den Geist ermuntert. Als 1819 der Student *Runge* auf Veranlassung des Chemikers *Döbereiner* im geliehenen Frack und Zylinder bei *Goethe* vorsprach, um diesem den sicheren Nachweis des als Giftmittel oft verwendeten Saftes des Bilsenkrauts am Katzenauge vorzuführen, hat *Goethe* eine Schachtel Kaffeebohnen *Runge* übergeben, aus denen er 1820 die Kaffeebase, das Coffein, isolierte. Auf der Versammlung Deutscher Ärzte und Naturforscher würdigte der Kieler Universitätsprofessor *Pfaff* 1830 hier in Hamburg *Runge* als den Entdecker des Coffeins, über dessen Wirkung 1860 *Carl Voit* in München feststellte, daß „es gewisse Einflüsse auf die Nerven habe, die unsere gesamte Stimmung und unser ganzes Sein wesentlich berühren, ja uns nach außen sowie in unserem Gemeingefühle zu scheinbar anderen Menschen umgestalten könne“. Dieser Hinweis zeigt, daß Kaffee auf die Sinnesfunktionen und die zentralnervösen Steuerungsmechanismen einen anregenden Effekt haben muß. Allerdings müssen diese Kaffeewirkungen, die in erster Linie dem Coffein zugeschrieben werden müssen, durch Einfluß auf eine Reihe von physiologischen Funktionen der Sinnesorgane und des Zentralnervensystems entstanden sein.

In der Tat sind die ersten Zeichen einer Kaffeewirkung eine Vermehrung und Verdeutlichung der anschaulichen Elemente, eine Verbesserung der kombinatorischen Leistungen sowie der Reichhaltigkeit des Erlebens. Hinzu kommt, daß die Aussagen ausführlicher werden, mehr Einzelheiten enthalten. Unter einer angeregten Stimmung und bei Wohlbefinden gewinnen unter Coffein die normalerweise unbemerkt bleibenenden Elemente an Prägnanz. Andererseits kann es bei stärkerem Kaffeegenuß zu hemmungsloser Redesucht, ja Schwatzhaftigkeit, später zu Reizbarkeit, Unruhe und Schlafstörungen kommen. Die zuletzt genannten Symptome der Kaffeewirkung zeigen aber auch, daß die Coffeineffekte auch umschlagen können, wobei offenbar drei Faktoren wichtig sind:

1. die Coffeindosis,
2. die Aufnahmegeschwindigkeit des Coffeins durch Magen und Darm sowie
3. die Ausgangslage, in der sich der Kaffeetrinker befindet.

*) Vortrag auf dem VII. Internat. Wissenschaftl. Kolloquium über Kaffee, Hamburg 1975.

Zur richtigen Einschätzung dieser Faktoren ist die Kenntnis der zentralnervösen Coffeinwirkung notwendig. Das Gehirn stellt im Grunde ein vielmaschiges Netzwerk von Nervenzellen, Neuronen, dar, wobei es regional Verdichtungen zu Zentren gibt, die wiederum mit Nerven untereinander in Kontakt stehen. Dabei kommt der Großhirnrinde zum einen die Aufgabe zu, Informationen, die aus den Sinnesorganen dem Gehirn zugeleitet werden, abzuspeichern, und zwar zunächst im Ultrakurzzeitgedächtnis, um sie danach im Kurz- und Langzeitgedächtnis zu deponieren. Das Ultrakurzzeitgedächtnis stellt die elektrische Phase, das Kurzzeitgedächtnis die Ribonucleinsäure-Phase und das Langzeitgedächtnis die Proteinphase der Gedächtnisspeicherung dar.

Beim Ultrakurzzeitgedächtnis handelt es sich um bioelektrische Signale, die Ringschaltungen aus Nervenzellen, sog. Neuronenkreise, anstoßen und in eine kreisende Erregung versetzen. Eine so aktuell abgespeicherte Information kann sofort abgerufen und beispielsweise zu Handlungen umgesetzt werden. Das ist die elektrische Phase als erste Stufe des Gedächtnisses. Auf dieser Stufe ist das Abgespeicherte äußerst rasch und leicht wieder löschar. Die Haftfähigkeit wird schon besser, wenn die Informationen strukturfixiert werden. Das geschieht in der zweiten Phase; denn nun wird auf eine noch unbekannte Weise die im Gehirn als bioelektrisches Signalmuster kreisende Information im Molekül Ribonucleinsäure durch Variation der Bausteinreihenfolge kodiert. Damit trägt dieses Molekül eine Information, eine Botschaft, sie wird darum „messenger-RNA“ genannt. Dieses informationsträchtige Molekül in den Zellen der Großhirnrinde sucht nun kleine Partikel innerhalb der Hirnrindenzellen auf, die ebenfalls aus Ribonucleinsäure bestehen und darum Ribosomen genannt werden. Parallel zu diesem Vorgang führt eine andere Ribonucleinsäure einen Transport von Aminosäuren zum Ribosom durch. Es ist das die „transfer-RNA“, die mit einem enzymatischen Prozeß sich eine Aminosäure anhängt und sie zum Ribosom transportiert. So ist es möglich, entsprechend der Kodierung im Ribosom ein Protein herzustellen, dessen Aminosäuresequenz von der Art der Bausteinfolge in der „messenger-RNA“ bestimmt wird. Auf diese Weise wird erreicht, daß eine Information für eine mehr oder weniger lange Zeit abgespeichert werden kann.

Das Coffein ist in der Lage, in zweifacher Weise auf diese Vorgänge Einfluß zu nehmen, direkt und indirekt. Der direkte Effekt besteht darin, daß Coffein die Phosphodiesterase zu hemmen vermag, d. h., der Abbau der auch für die Hirnfunktion wichtigen energiereichen Phosphate Adenosintriphosphat (ATP) und Guanosintriphosphat (GTP) wird gestoppt. Das bedeutet eine Verkürzung des Resyntheseweges und damit eine raschere Wiederherstellung eines Vorrates von diesen Stoffen. Das Adenosintriphosphat wird beim Aminosäuretransport an das Ribosom und das Guanosintriphosphat beim Anheften der informationshaltigen „messenger“-Ribonucleinsäure an das Ribosom benötigt.

Ein weiterer positiver Effekt des Coffeins ist indirekter Natur; denn er kommt über die Coffeinwirkungen auf das Herz zustande. Während in jüngeren Jahren die Blutgefäße des Gehirns noch Änderungen ihres Durchmessers vornehmen können, um eine bessere Hirndurchblutung und damit einen Sauerstoffantransport erreichen können, ist das im Alter

praktisch nicht mehr der Fall. Eine Blutgefäßerweiterung ist im Hinblick auf die Hirndurchblutung außerordentlich wirksam, da nach dem Hagen-Poiseuilleschen Gesetz, das die in der Zeiteinheit durch ein Gefäßrohr fließende Blutmenge definiert, der Radius mit der 4. Potenz eingeht. Kleinste Radienänderungen führen zu größten Durchblutungsänderungen. Weil dieser Regulationsvorgang mit dem Alter, beginnend etwa im 3. Lebensjahrzehnt, schrittweise schlechter wird, gewinnt die Sicherung der Hirndurchblutung über den Blutdruck zunehmend an Bedeutung für die Hirnleistung. Wenn die Hirngefäße sklerosiert sind, also ein Sauerstoffmangel im Gehirn besteht, wird die Sauerstoffversorgung praktisch linear vom Druck abhängig. Insofern führen drastische Blutdrucksenkungen oder bestehende Hypotonien zu massiven Funktionsbeeinträchtigungen im Gehirn. Die Tasse Kaffee vermag dem entgegenzuwirken; denn Coffein erhöht die Herzarbeit, verbessert durchabhängig die Hirndurchblutung. Wenn dazu noch Restmöglichkeiten einer Blutgefäßerweiterung durch Coffein bei den 4 H: Haut – Herz – Harn (Niere) – Hirn hinzukommen, wird klar, daß das Coffein die Hirndurchblutung auch bei älteren Menschen steigern muß. Der so verbesserte Sauerstofftransport zum Gehirn sorgt dafür, daß auf dem Wege der Atmungskettenphosphorylierung dem Gehirn vermehrt Adenosintriphosphat und Guanosintriphosphat zur Verfügung gestellt wird. Die Folge muß sein, daß Kaffee die Gedächtnisleistung des Gehirns verbessern muß.

Das Gehirn hat aber nicht nur die Aufgabe, Informationen abzuspeichern. Es veranlaßt auch Handlungen, praktisch immer auf Grund einer aus den Sinnesorganen einlaufenden Information. Eine Handlung aus eigenem Antrieb, also nicht eine Reaktion auf ein äußeres Ereignis, erfordert auch einen Anstoß, der aber aus den Gedächtnisarealen stammt und folglich grundsätzlich gleichartig ist. Bei dieser Gehirnfunktion kommt es hauptsächlich auf die Fähigkeit der Nervenzellen an, ein bioelektrisches Signal von einem Empfindungszentrum, beispielsweise vom Hör- oder Sehzentrum, auf ein Zentrum zu übertragen, das für Auslösung von Willkürhandlungen verantwortlich ist. Solche Verknüpfungen werden Assoziationen genannt. Es müssen also Nervenzellen (Neuronen) mit ihren Fortsätzen Kontakt zu anderen Nervenzellen aufnehmen. Derartige Übergangsstellen von einem Neuron zu einem anderen sind die Synapsen. An solchen Orten müssen Zellgrenzen, Zellmembranen überwunden werden. Solche Zellgrenzflächen stellen molekularbiologisch trimolekulare Filme dar, die innen und außen ein Netzwerk aus Proteinen aufweisen. Dazwischen liegt eine lipophile Schicht, in der sich Cerebrosid und Sphingomyelin und Cholesterin befinden, das sowohl zu wäßrigen als auch fettigen Phasen eine Affinität besitzt. Weil bei der Auslösung einer Erregung einer Nervenzelle sich die Permeabilität der Zellmembran ändern muß, damit die extrazellulär vorhandenen und mit einem Wassermantel versehenen Natriumionen – ihrem Konzentrationsgefälle folgend – in die Nervenzelle eindringen können, ist eine Umformung der Nervenzellmembran notwendig. Hier ist ein weiterer Angriffspunkt des Coffeins; denn die schon erwähnte, vom Coffein veranlaßte Hemmung der Phosphodiesterase bewirkt eine Ansammlung von zyklischem 3,5-Adenosinmonophosphat, das als Überträgerstoff, als sekundärer Transmitter, aufgefaßt

werden muß. Das heißt, dieser Transmitter bewirkt eine Verformung des trimolekularen Films der Zellmembran in der Weise, daß das Eindringen von Natriumionen in die Zelle erleichtert wird. Das allein bedeutet schon eine Erregbarkeitssteigerung der Synapsen, mit anderen Worten, Coffein erleichtert den Übergang einer Signalübertragung von einer Nervenzelle auf eine andere. Dieser Effekt wird noch dadurch verstärkt, daß der genannte sekundäre Transmitter, das zyklische 3,5-Adenosinmonophosphat, noch an anderen Grenzflächen wirksam ist. Wenn ein Nervenimpuls an einer Synapse an eine angekoppelte Nervenzelle übertragen werden soll, so wird in diesem Bereich ein primärer Transmitter, das Acetylcholin, in den synaptischen Spalt abgegeben. Das bewirkt dann die Erregung des angeschlossenen Nervenfortsatzes. Diese Abgabe wird durch Coffein erleichtert. Ferner befindet sich in kleinen Bläschen des Nervenfortsatzes gespeichertes Acetylcholin. Unter fortgesetzter Signalübertragung platzen diese Bläschen, um das gespeicherte Acetylcholin fortgesetzt in den synaptischen Spalt abgeben zu können. Auch diese Abgabe von Acetylcholin als Transmitter aus den Speicherbläschen wird durch Coffein erleichtert, als 2. Wirkungsmechanismus der Signalübertragung. Natürlich kann ein solcher Effekt nur dann physiologisch sinnvoll sein, wenn zugleich für ausreichenden Nachschub gesorgt wird. Tatsächlich verbessert Coffein auch den Antransport von Überträgerstoffen aus der Blutbahn in die Gegend der Synapsen, ein 3. Effekt des Coffeins an den Grenzflächen zwischen Blutbahn und den Nervenzellfortsätzen.

Die geschilderten Coffeinwirkungen machen deutlich, daß Kaffee die Reaktionszeiten verkürzen kann, die Handlungsgeschwindigkeit vergrößert.

Neben diesen fundamentalen Wirkungen des Coffeins muß jedoch berücksichtigt werden, daß die Coffeinempfindlichkeit der verschiedenen Gehirnzentren unterschiedlich ist. Dabei ist es sogar möglich, daß Schaltwege im Gehirn, die einer Hemmung dienen, durch Coffein auch erregt werden. Eine Anregung der Hemmung bedeutet aber eine Verstärkung der Hemmung. Coffein muß daher eine „bunte“ Wirkung haben, weil sowohl Aktivierungs- als auch Hemmungsmechanismen angestoßen werden. Was dann im Endeffekt als Coffeinwirkung herauskommt, hängt davon ab, ob Aktivierung oder Hemmung überwiegt. Hier spielt vor allem eine Hirnstruktur eine Rolle, die über ein unspezifisches Aktivierungs- und ein schwächer ausgeprägtes Hemmungssystem verfügt. Gemeint ist die sog. Retikularformation. Wie der Name sagt – *rete* = das Netz –, handelt es sich um ein das Gehirn in der Tiefe durchziehendes Netzwerk von Nervenzellen. Sein Aktivierungssystem hat dichte Nervenbindungen zu anderen Hirngebieten, was wichtig ist, weil Coffein dieses Aktivierungssystem stimuliert. Coffein erhöht nämlich generell den Aktivitätspegel in dieser Retikularformation, die für den Wachheits- und Aufmerksamkeitsgrad des Menschen verantwortlich ist. Je höher der Pegel in diesem Zentrum, desto höher ist auch das Wachniveau.

Eine Variation des Aktivitätspegels in dieser Wachzentrale zieht aber wegen der Kontakte zu anderen Hirnarealen eine Reihe von Nebeneffekten nach sich. So ist diese retikuläre Wachzentrale aufs engste mit der Hirnrinde verbunden. Infolgedessen können die geschilderten Gedächtnis-

und Assoziationsleistungen der Großhirnrinde nur dann erbracht werden, wenn das Aktivitätsniveau in der Retikularformation sich auf der richtigen Höhe befindet. Außer der Hirnrinde ist auch jenes Zentrum an die Wachzentrale angekoppelt, das für die affektive, psychische Beimischung von Hirnrindenprozessen wie Handlungen und Empfindungen verantwortlich ist. Es handelt sich um das sog. limbische System. Coffein nimmt darauf direkt und indirekt über die Retikularformation Einfluß. Darum führt Coffein zwangsläufig zu einer Anhebung der Affektlage, wie der Befund des „Kaffeeschwipses“ beweist. Als drittes Hirnareal ist an die retikuläre Wachzentrale das vegetative Zentrum, das Zwischenhirn, angeschlossen. Das erklärt die vielfältigen vegetativen Kaffeewirkungen auf das Herz-Kreislauf-System, den Magen-Darm-Kanal, die Schweißsekretion und die Schlaf-Wach-Regulation. Schließlich ist auch das Regelsystem im Rückenmark angeschlossen, das für die Muskelspannung und die Feinmotorik von Willkürhandlungen verantwortlich ist. Nur ein normales Aktivitätsniveau in der Retikularformation sichert einen normalen Muskeltonus und eine exakte Feinmotorik. Ist der retikuläre Pegel infolge Ermüdung zu niedrig, so sinkt die Muskelspannung und vergrößert sich die Feinmotorik. Ist andererseits der retikuläre Pegel zu hoch, so führt das zu einer Muskelverspannung und deshalb zu versteiften, d. h. ebenfalls ungenauen Willkürbewegungen. Das retikuläre Aktivitätsniveau muß folglich auf der richtigen Höhe gehalten werden, nicht zu hoch, aber auch nicht zu niedrig.

Das Aktivitätsniveau in der Wachzentrale, der Retikularformation, das vom Coffein angehoben wird, wird normalerweise vom Einstrom aus den Sinnesorganen bestimmt. Alle Sinnesbahnen, also Bahnen vom Auge, Ohr, von dem Riech- und Geschmackssinn sowie von den Hautsinnen für Schmerz, Druck und Temperatur, weisen auf ihrem Weg zu den zuständigen Empfindungszentren in der Hirnrinde Abzweigungen, sog. Kollateralen, auf, die in die Retikularformation ziehen und dort eine Pegelanhebung bewirken. Ferner rufen Rückkopplungsbahnen aus der Hirnrinde, der limbischen Affektzentrale, den vegetativen Zentren im Zwischenhirn und aus den dehnungsempfindlichen Muskelfühlern eine retikuläre Pegelanhebung hervor.

Weil so zahlreiche Einströmungen in die retikuläre Wachzentrale einziehen, ist wesentlich zu kennen, wie sich das Aktivitätsniveau in der Retikularformation dabei ändert, ihre Kennlinie aussieht. Ist das Aktivitätsniveau niedrig, so befindet sich der Mensch im Schlaf. Von einer bestimmten Höhe an tritt Aufwachen ein, und von da an nimmt mit steigendem Sinneseinstrom der Aktivitätspegel und darum linear auch der Wachheitsgrad zu, bis eine gewisse Sättigungsgrenze erreicht ist. Wird diese überschritten, steigt der Wachheitsgrad nicht mehr an, sondern im Gegenteil, das System schaltet ab. In diesem oberen Abschnitt der retikulären Kennlinie liegt eine Reizüberflutung vor, man befindet sich im Streßbereich. Die Steilheit dieser Kurve ist individuell verschieden, so daß es von Mensch zu Mensch Unterschiede gibt, wie rasch man in den Übersteuerungsbereich kommt. Die Leistungsfähigkeit des Menschen ist dann am größten, wenn das Wachniveau auf dem mittleren Teil der Kurve, auf dem optimalen Arbeitspunkt gehalten werden kann. Ist der Arbeits-

punkt abgesunken, so liegt nervöse Ermüdung vor, ist er zu hoch, so befindet man sich in einer Verspannung, die leicht in eine gespannte Erschöpfung übergehen kann, wie es der Begründer der Streßforschung *Selye* genannt hat. Da das Coffein auch auf das retikuläre Aktivierungssystem Einfluß nimmt, wird klar, daß der Kaffee immer dann angezeigt ist, wenn der wegen Ermüdung oder reizarmen Situationen abgesunkene Arbeitspunkt wieder angehoben werden soll. Kaffee ist aber auch von Nutzen, wenn man bei normalem Wachniveau mit einer bald ermüdenden Tätigkeit beginnt; denn dadurch läßt sich der Ermüdungseintritt verzögern. Ist man dagegen infolge Zeitdruck, rasch wechselnder Sinneseindrücke, hoher geistiger Aktivität bei psychischer Anspannung oder hoher Konzentrationsanforderung schon im oberen Bereich der retikulären Kennlinie angekommen, so sollte in derartigen Situationen und vor allem von Menschen, die rasch auf Grund ihrer steilen retikulären Kennlinie an die Übersteuerungsgrenze gelangen, coffeinfreier Kaffee getrunken werden. Der coffeinfreie Kaffee ist dabei keineswegs indifferent, sondern andere Inhaltsstoffe des Kaffees als Coffein müssen eine milde Anregungswirkung haben.

Hinzu kommt, daß die an die retikuläre Wachzentrale angeschlossene Affektzentrale, das limbische System, ebenfalls Einströmungen aus allen den Sinnesorganen erhält, wobei die Einströmungen aus den Kaltfühlern der Haut, aus den Dehnungsfühlern der Muskeln und vor allem aus der Riechbahn eine starke Stimulationswirkung haben. In der Stammesentwicklungsgeschichte des Menschen war diese Affektzentrale einstmals das Riechhirn, woraus sich wohl erklärt, daß Riechreize nicht nur starke affektive Begleiterscheinungen verursachen, sondern auch intensive Weckwirkungen entfalten. Die Wirkung der Riechsalze und der mit starken Riechstoffen gefüllten medizinhistorisch bekannten Riechfläschchen zur Wiederbelebung ist hiermit ebenso erklärbar wie die biologische Bedeutung von Duftmarken, die von vielen Tierklassen in ihren jeweiligen Sozialbereichen mit zu den verschiedenartigsten Signalisierungen benutzt werden. Dieser affektive Weckeffekt ist nachweisbar. Leitet man im Tierexperiment das Hirnstrombild, das Elektroenzephalogramm (Eeg) und zugleich die Entladungen der Hirnrindenzellen ab, so findet man mit sinkender Bewußtseinschelligkeit großer Wellenzüge, ein synchronisiertes Eeg und Spontanentladungen in einzelnen Pyramidenzellen. Ein Riechreiz weckt auf, das Eeg wird desynchronisiert, bei Verschwinden der Spontanentladungen. Hieraus ist ableitbar, daß dem Kaffeeduft eine nicht zu gering einzustufende physiologische Anregungswirkung zukommt, die beim Tee erheblich schwächer ausgeprägt ist.

Jedenfalls kommen dem coffeinhaltigen wie dem coffeinfreien Kaffee wegen der geschilderten Arbeitsweise des retikulären Aktivierungssystems getrennte, aber gleich wichtige Einsatzmöglichkeiten zu. Immer dann, wenn sich ein Mensch – aus welchen Gründen auch immer – auf hohem retikulären Aktivitätsniveau befindet, wäre der coffeinfreie Kaffee angezeigt, während bei stark abgesunkenem Aktivitätsniveau man den coffeinhaltigen Kaffee trinken sollte. Menschen, deren retikuläre Kennlinie flacher verläuft, bevorzugen den coffeinhaltigen Kaffee, Menschen mit steil verlaufender Kennlinie werden dagegen einen größeren

Nutzen aus dem coffeinfreien Kaffee ziehen. Ein hoher Aktivitätspegel muß im übrigen keineswegs nur durch einen hohen Sinneseinstrom verursacht worden sein, sondern kann auch durch starke Rückmeldungen aus den angeschlossenen Hirnstrukturen entstehen, z. B. bei psychisch-affektiver Gereiztheit oder auch bei vegetativen Störungen unterschiedlichster Art. Im ersteren Fall stimuliert das limbische System, im letzten die vegetativen Zentren des Zwischenhirns.

Die geschilderten funktionellen Zusammenhänge machen auch verständlich, warum man unter Coffeinwirkung nicht immer Leistungsverbesserung in psychomotorischen Leistungstests erhalten muß. Waren die Versuchspersonen allein schon durch die Situation im Experiment auf ein hohes Aktivitätsniveau gebracht worden, so muß zwangsläufig eine zu Versuchsbeginn zugeführte Coffeindosis die Leistung verschlechtern. Das äußert sich nicht nur in einer Zunahme der Fehlerzahl, sondern auch in der Exaktheit einer Handlung. Wird nämlich die Übersteuerungsgrenze nur leicht überschritten, so lassen die Antriebe auf das Regelsystem für die Feinmotorik im Rückenmark nach, so daß verzerrte und über das Ziel hinausschießende Bewegungen auftreten, wie das beispielsweise die Gaspedalausschläge im Fahrsimulationstest beweisen.

Mit einem Tracking-Test, bei dem die Versuchsperson eine auf einem Monitor abgebildete, sich in ihrer Größe stetig ändernde und zugleich von links nach rechts laufende Treppenstufe mit einem Lenkrad kontinuierlich ausgleichen muß, lassen sich weitere Anhaltspunkte für eine leistungssteigernde Wirkung des coffeinhaltigen und coffeinfreien Kaffees finden. Bei diesem Test kann die gestellte Aufgabe in vierfacher Weise variiert werden: Die Aufgabe kann sinusförmig, d. h. gleichmäßig auf und ab, monoton sein; sie kann völlig regellos als „Rauschen“ eingestellt und schließlich je nach der Leistung des Menschen adaptiv rascher, d. h. schwieriger oder auch langsamer, d. h. leichter gemacht werden. Zugleich werden nicht nur die gemachten Fehler bewertet, sondern auch der psychophysische Anstrengungsgrad mit biologischen Daten erfaßt. Von besonderem Wert war uns dabei die sog. Sinusarrhythmie, d. h. die von den vegetativen Nerven am Herzen bewirkte, an sich geringen Schwankungen der Regelmäßigkeit der Schlagfolge. Sie sind bei psychomentaler Ruhe, also in den Arbeitspausen, groß, bei psychomentaler Anstrengung gering. Zieht man diese biologischen Größen als Maß für die Anstrengung und die gemachten Fehler zur Leistungsbewertung heran, so zeigt sich schon bei den leichten Versuchsaufgaben die Kaffeewirkung, allerdings ohne statistisch absicherbare Unterschiede bei Gabe von Coffein, coffeinhaltigem und coffeinfreiem Kaffee. Lediglich unter Kaffee-Surrogat als Placebo zeigt sich die normale Ermüdung unter der Testaufgabe. Wenn aber die Aufgabe erschwert wird, zeigt sich, daß eine Coffeinlösung (D) und coffeinhaltiger Kaffee (B) eine Leistungssteigerung von etwa 15 % hervorrufen, während unter Kaffee-Surrogat (C) der testbedingte starke Leistungsabfall demonstriert wird. Coffeinfreier Kaffee (A) vermag diese Leistungseinbuße hoch signifikant abzuschwächen.

Wesentlich ist für die Beurteilung der Kaffeewirkung auch noch der Befund, daß die höheren Sinne Auge und Ohr, besonders die Netzhaut des Auges, über antidrome, d. h. zurücklaufende Bahnen erreicht werden.

Solche Bahnen haben Hemmungswirkungen. Das bedeutet für die in der Netzhaut ablaufenden, als Elektroretinogramme erfaßbaren bioelektrischen Prozesse, daß sie mit wachsender Lichtintensität nicht so stark ihre Amplitude erhöhen, was bereits nach Genuß einer Tasse Kaffee mit 0,2 g Coffein nachgewiesen werden kann. Das gleiche gilt für den Anpassungsvorgang, die Adaptation an Dunkelheit in den ersten 10 Minuten des Dunkelaufenthalts. Auf die Sehfunktion übertragen, bedeutet die letztere Aussage zwar eine gewisse Verzögerung der Dunkelanpassung, jedoch ist der erstere Befund ein Hinweis für eine geringere Blendempfindlichkeit. Weil Coffein in der Netzhaut des Auges Hemmungsprozesse anregt, wird dadurch das Erregungsmuster besser auf den belichteten Bezirk abgegrenzt: Die retinale Sehschärfe wird verbessert. Das erklärt, warum sich nach Kaffeegenuß die Kontrastwahrnehmung und das Formenerkennen verbessert. Wertet man im Elektroretinogramm die c-Welle aus, die ein Maß für die Stoffwechselaktivität ist, so zeigt sich, daß diese durch Kaffee deutlich erhöht wird.

Die retikuläre Wachzentrale ist im Zusammenwirken mit den Schlafzentren im Zwischenhirn dafür verantwortlich zu machen, daß die Leistungsbereitschaft des Menschen während des Tages nicht konstant ist. Bildet man den Mittelwert aus den im Verlauf von 24 Stunden erfaßbaren Leistungsbereitschaften und setzt ihn gleich 100 %, so zeigt sich, daß am späten Vormittag die größte Leistungsbereitschaft besteht, daß es ferner eine Mittagssenke zwischen 14 und 15 Uhr gibt, auf die ein zweites Maximum um 16–18 Uhr folgt, das jedoch nicht so hoch wie das vormittägliche Maximum ist. In der Nacht sinkt die Leistungsbereitschaft steil ab mit einem Tiefpunkt um 2 Uhr. Da die Mittagssenke eine Einbuße von etwa 20 % an Leistungsbereitschaft bedeutet, ist bei durchgehender Arbeitszeit eine Mobilisierung von Leistungsreserven nötig. Da eine Tasse Kaffee die Leistung um etwa 15 % für die Dauer von 2–3 Stunden steigert, kann nach eingenommenem Mittagessen eine gute Tasse Kaffee dieses Mittagstief kompensieren. Eine entsprechende Verfahrensweise während der Nacharbeit ist demgegenüber problematisch. Von den vegetativen Nerven ist der Sympathikusnerv derjenige, der den Menschen in Arbeitsbereitschaft bringt, er wirkt ergotrop. Dagegen ist der Vagusnerv, der die Erholungsprozesse fördert, trophotrop wirkend. Daraus geht hervor, daß am Tage der Arbeitsnerv Sympathikus überwiegt und in der Nacht der Erholungsnerv Vagus. Wenn ein Mensch Nacharbeit verrichten muß, so verstößt er gegen seine „biologische Uhr“, d. h., über die Retikularformation und das Zwischenhirn, den Hypothalamus wird der Sympathikus aktiviert. Gleichzeitig wird vom Zwischenhirn die Abgabe des sog. „releasing“-Hormons veranlaßt, das die übergeordnete Hirnanhangsdrüse, die Hypophyse, stimuliert. Diese schüttet daraufhin adrenocorticotropes Hormon (ACTH) aus, wodurch die Nebenniere veranlaßt wird, Adrenalin und Cortisol vermehrt abzugeben. Beide Nebennierenhormone veranlassen im Körper dann eine Reihe von Umstellungen, die nur zum Ziel hat, das Individuum für eine Muskelleistung vorzubereiten, ursprünglich zum Angriff oder zur Flucht. Das ist die normalphysiologische Streßreaktion, die harmlos ist, sofern die bewirkten Umstellungen wie die Erhöhung des Glucose- und Fettspiegels im Blut durch Körperarbeit abgebaut werden.

Bleibt die motorische Abreaktion aus, dann gehen die Umstellungen ins Leere, der Streß wurde zum krank machenden Disstreß. Tatsächlich wird bei Nachtarbeit die Streßreaktion mit fortschreitender Schichtperiode ausgeprägter, wie die signifikant erhöhte AdrenalinKonzentration während der 6. Nachtschicht im Vergleich zur 2. Nachtschicht zeigt. Es ist im Grunde genommen nichts dagegen einzuwenden, wenn der Nachtarbeiter um 2 Uhr im Zusammenhang mit einer Mahlzeit coffeinhaltigen Kaffee trinkt, allerdings unter der Einschränkung, daß die Nachtarbeit ausreichend Muskularbeit enthält. Bei einer Abendgesellschaft wäre der Mokka eigentlich auch nur dann vertretbar, wenn danach noch ausreichend getanzt werden kann oder der Heimweg zügig zu Fuß zurückgelegt wird. Nachtarbeiter, die demgegenüber in erster Linie nur Kontroll- oder Überwachungsaufgaben zu erfüllen haben, sollten unbedingt den coffeinfreien Kaffee bevorzugen.

Was die Coffeindosis anbetrifft, so müßten schon große Kaffeemengen getrunken werden, um in der Nacht einen gewissen, jedoch nicht über die gesamte Schicht anhaltenden Kompensationseffekt durch Mobilisierung von Leistungsreserven zu erhalten. Da aber ab 0,5 g Coffein mit Beeinträchtigung der Feinmotorik gerechnet werden muß, ferner auch die Wirkung auf die Großhirnrinde nicht mehr unbedingt positiv zu bewerten ist, ist bei Nachtarbeit der coffeinfreie Kaffee eher angezeigt.

Es sei noch die Coffeinwirkung auf den Schlaf abgehandelt. Im Hinblick auf die Tatsache, daß das in den Lipoiden des Zentralnervensystems lösliche Coffein rasch die Blut-Liquor-Schranke überwindet, an den adrenergischen Synapsen verstärkt Noradrenalin freisetzt, aber auch den Gehalt an Gammaaminobuttersäure um 25–30 % erhöht, zudem noch die Konzentration des sekundären Transmitters des zyklischen 3,5-Adenosinmonophosphats steigert, sind phasische und möglicherweise „bunte“ Wirkungen zu erwarten. Während nämlich Noradrenalin an den exzitatorischen Synapsen einwirkt, hat die Gammaaminobuttersäure einen Haupteffekt an den inhibitorischen Synapsen. Die Gammaaminobuttersäure ruft in ausreichender Dosierung einen schlafähnlichen Zustand hervor. Man darf annehmen, daß nach Kaffeegenuß der primär anregende Effekt im Zentralnervensystem durch Freisetzung von exzitatorisch wirkenden Stoffen nach einiger Zeit durch die vom Coffein angeregte Decarboxylierung von Glutamat zu der dämpfend wirkenden Gammaaminobuttersäure abgefangen wird. Dabei ist es durchaus möglich, daß zu einem späteren Zeitpunkt nach Abbau der Gammaaminobuttersäure erneut der exzitatorische Effekt überwiegen kann. Das mag erklären, daß man nach nachmittäglichem Kaffeegenuß über eine Anregungsphase in eine Müdigkeitsperiode kommt, an die sich wieder eine Anregungsphase anschließt, die das Einschlafen stört. Die Periodendauer muß jedoch groß sein.

Die aus dem Hirnstrombild (Eeg), den Augenbewegungen (Elektrookulogramm = Eog), der bioelektrischen Muskelaktivität (Elektromyogramm = Emg) sowie aus Herz- und Atmungstätigkeit und den Körperbewegungen des Schlafers ermittelte Schlafstufenkurve zeigt nach Genuß einer Tasse coffeinfreien Kaffees ein vom Placeboversuch kaum abweichendes Bild. Man erkennt die normalen Schlafzyklen aus Tiefschlaf und Paradoxalschlaf, der so heißt, weil nach dem Eeg fast ein Wachzustand

bestehen müßte, die Versuchsperson aber schläft und in den mit Traumepisoden einhergehenden Phasen die Augen bewegt. Man nennt diesen Anteil auch deswegen REM-Schlaf (rapid eye movements). Lediglich dieser Anteil ist nach Genuß von coffeinfreiem Kaffee leicht vermehrt auf Kosten des Tiefschlafs. Coffeinhaltiger Kaffee beeinflußt den Schlaf vornehmlich in den ersten 3 Stunden nach Schlafeintritt. Daraus resultiert naturgemäß eine signifikante Abnahme an Tiefschlaf und Leichtschlaf ohne Verkürzung der Gesamtschlafdauer. Das zeigt sich deutlich, wenn man das Schlafverhalten einmal für die gesamte Nacht und zum anderen für die ersten drei Schlafstunden getrennt auswertet. Hierbei wird deutlich, daß ohne Verringerung der Gesamtschlafdauer coffeinfreier Kaffee im Vergleich zum Leerschlaf insignifikant verkürzt bei Vermehrung des Leicht- oder Traumschlafs. Diese Verschiebung wird nach coffeinhaltigem Kaffee ausgeprägt und hoch signifikant. Zurückzuführen ist das dabei auf die Coffeinwirkung in den ersten 3 Stunden des Schlafs.

Bei den Körperbewegungen ergibt sich, daß im Stadium 0, also im Wachzustand im Vergleich zum Leerversuch, die motorische Aktivität unter Zufuhr des coffeinfreien Getränks abnimmt, die beim coffeinhaltigen Kaffee noch ausgeprägter ist. Im Stadium I, also während des Einschlafens, ist es genau umgekehrt. Hier ist die Aktivität im Leerversuch am geringsten und steigt über den coffeinfreien zum coffeinhaltigen Kaffee stetig an.

Die Muskelspannung, der an der Mundbodenmuskulatur gemessene Muskeltonus, zeigt als einzige statistisch absicherbare Veränderung, daß nur nach Genuß von coffeinhaltigem Kaffee im REM-Schlaf, dem Traumschlaf, der Muskeltonus erhöht ist.

Es darf abschließend nicht unerwähnt bleiben, daß zentralnervöse Strukturen in der Regel differentialquotientenempfindlich reagieren. Deshalb kommt es im Hinblick auf die Coffeinwirkungen auch auf die Resorptionsgeschwindigkeit und damit auf den Konzentrationsanstieg im Blut und Gehirn an. Je steiler der Konzentrationsanstieg im Gehirn ist, um so höher und steiler ist zwar der stimulierende Effekt, um so stärker werden wegen der Flip-Flop-Schaltung der exzitatorischen und inhibitorischen Neurone die nachfolgenden Dämpfungseffekte sein. Aus diesem Grunde ist beim Kaffeegenuß eine Resorptionsverzögerung anzustreben. Das kann durch einen Zusatz von Sahne zum Kaffee erreicht werden. Gelangt Kaffee in den Magen, so wird das Coffein während der Passage des resorbierenden Magen-Darm-Abschnitts resorbiert, wobei die maximale Coffeinkonzentration im Blut erst dann erreicht wird, wenn der Kaffee insgesamt sich im resorbierenden Abschnitt befindet. Die Resorptionsverzögerung durch Sahne geschieht in der Weise, daß das Fett der Sahne mit möglichst 10 % Fettgehalt im Bereich des Magens und des Zwölffingerdarms die Abgabe des Hormons Enterogastron aus der Dünndarmschleimhaut in das Blut steigert. Diese Hormon hemmt die Magenmotorik und damit eine rasche Durchmischung des Mageninhalts. Infolgedessen wird die Kontaktaufnahme des Kaffees mit der resorbierenden unteren Magenschleimhaut und zugleich die Magenentleerung verzögert. Die Folge ist ein verzögerter Anstieg der Coffeinkonzentration im Blut und darum auch im Gehirn. Das führt zwangsläufig auch zu einer Ab-

schwächung oder bei Zuckerzusatz sogar zu einer Aufhebung der Dämpfungsphase.

Ob coffeinhaltig oder coffeinfrei, beide Kaffeearten haben nebeneinander ihre Wirkung und damit Bedeutung. Für beide gilt das vor vier Jahrhunderten geäußerte Zitat des Scheichs *Abd-Alkader*: „Oh Kaffee, du zerstreust die Sorgen, du bist das Getränk der Gottesfreunde, du gibst Gesundheit denen, die arbeiten, um Weisheit zu erwerben.“

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. med. *Wolf Müller-Limmroth*, Institut für Arbeitsphysiologie der Technischen Universität, Barbarastraße 16, 8000 München 40