

Aus dem Institut für gerichtliche und soziale Medizin der Universität Frankfurt a. M.
(Direktor: Prof. Dr. F. WIETHOLD)

Untersuchungen über das Verhalten der Pulsfrequenz beim Kraftfahren

Von

KARL LUFF

Mit 12 Textabbildungen

(Eingegangen am 1. Mai 1959)

Über das physiologische Verhalten von Kreislauf, Atmung und Stoffwechsel beim Kraftfahren sind bisher noch keine systematischen Untersuchungen durchgeführt oder zumindest nicht im Schrifttum mitgeteilt worden. Dies dürfte vor allem auf die Schwierigkeit zurückzuführen sein, die Reaktionen des Kraftfahrers auf die verschiedensten exogenen und endogenen Einflüsse während der Fahrt in methodisch einwandfreier Weise zu erfassen. Psychotechnischen Untersuchungen an Stelle von Fahrversuchen würde zu diesem Problem nur ein beschränkter Aussagewert zukommen, da sie die Wirklichkeit nicht ausreichend widerspiegeln und eine den natürlichen Bedingungen nicht angepaßte Einstellung und Leistungsbereitschaft der Testperson zur Folge hätten, worauf GRÜNTHAL²⁵ bereits 1922 hingewiesen hat. Ein Einblick in das vegetative Regulationsverhalten des Kraftfahrers verspricht aber nun ohne Zweifel wichtige Aufschlüsse und Hinweise für die Unfallursachenforschung und andere Gebiete der Verkehrsmedizin. Im Rahmen von Untersuchungen über biologische und physiologische Reaktions- und Verhaltensweisen im motorisierten Straßenverkehr haben wir uns deshalb mit der Frage befaßt, ob eine laufende Registrierung der Kreislauftätigkeit bei Fahrversuchen die physische und psychische Belastung des Fahrers sowie die Mechanismen der vegetativen Steuerung erkennen läßt.

Mit Recht hat GROENEWEGEN²⁴ kürzlich die Auffassung vertreten, daß das Führen von Kraftfahrzeugen als Arbeit anzusehen ist, eine Arbeit jedoch, die vielfach nicht als solche gewertet wird, da ihr die Dynamik der wertschaffenden Arbeit fehlt. Kriterium der geleisteten Arbeit sind die zurückgelegten Wegstrecken und der Zeitgewinn, Werte, die nur indirekt als Produkt der eigenen Tätigkeit angesehen werden. Die körperliche Arbeit, die der Kraftfahrer aufzuwenden hat, ist vorwiegend statischer Natur und kann, wenn man von dem Führen von schweren Lastwagen absieht, beim gesunden, ausgeruhten und leistungsfähigen Menschen vernachlässigt werden. Dagegen steht ohne Zweifel die geistige Beanspruchung im Vordergrund, die je nach Veranlagung des

Fahrers, nach Fahrweise, Fahrzeug, Verkehrssituation usw. erheblichen Schwankungen unterliegt. Auf der einen Seite das erholsame Fahren des „Sonntagsfahrers“, der langsam zu seinem Vergnügen durch die Gegend fährt, und auf der anderen Seite die strapazierende Fahrweise eines Rennfahrers, der mit Geschwindigkeiten von mehr als 200 km/h seine Runden dreht. Jeder aktive Teilnehmer von Rennsportveranstaltungen wird bestätigen können, daß das Fahren bei diesen Geschwindigkeiten außergewöhnliche Forderungen stellt, denen im Grand-Prix-Rennsport z. B. nur wenige Menschen gewachsen sind. Auch in anderen Sportarten sind ähnliche psychische Belastungen bei verhältnismäßig geringem körperlichem Aufwand bekannt. So berichtete STROMBERG⁶² von einem bekannten Billardspieler, der bei wichtigen Turnieren bis zu 6 Pfund an Körpergewicht verloren habe.

Die körperlichen Ausstrahlungen von seelischen Geschehnissen, wie z. B. Angst, Schreck, Erregung sind aus den Beispielen des täglichen Lebens bekannt. Sie reichen von normalen Erlebnisreaktionen bis zu den pathologischen Reaktionsformen, letztere jedoch nur bei abnormen, psychopathischen Persönlichkeiten. Schon vor der Jahrhundertwende wurden vor allem von psychiatrischer Seite die körperlich-seelischen Zusammenhänge erforscht und dabei auf die psychische Beeinflussung des Kreislaufs hingewiesen. So haben bereits KIESOW³⁰ 1895 sowie BINET und VACHIDE⁵ 1897 mit dem Fingersphygmomanometer nach Mosso zeigen können, daß fast alle seelischen Erregungen zu einer Erhöhung des Blutdrucks führen. Da diese Erhöhung sowohl den diastolischen als auch den systolischen Druck betrifft, schlossen KNAUER³¹ und BICKEL⁴ auf einen im wesentlichen kardialen Ursprung. Systematische Untersuchungen über die Auswirkung von seelischen Zuständen auf die verschiedenen Kreislaufgrößen (Puls, Blutdruck, Blutverteilung) wurden zuerst von LEHMANN³⁶ durchgeführt, während WEBER⁶⁶ das Verdienst zukommt, die physiologischen Vorgänge der Blutverteilung in ihrer Abhängigkeit von psychischen Einflüssen durch Anwendung verschiedenartiger Methoden aufgeklärt zu haben. Weitere wertvolle Beiträge wurden von SHEPARD⁵⁹, LOMBARD und PILLSBURY⁴⁰, MARTIUS⁴⁶ und BERGER³ geleistet, während zusammenfassend KÜPPERS³⁴ und später STOCKVIS⁶¹, DUNBAR¹⁷ und WOLFF⁷¹ über die Ergebnisse dieser Forschungen berichteten. Seelische Erlebnisse bewußter und unbewußter Art können nicht nur zu einer Beeinflussung der Kreislauf-tätigkeit im Sinne einer Veränderung des Blutdruckes, der Pulsfrequenz oder der sichtbaren Änderung der Hautdurchblutung führen, sondern auch darüber hinaus schwere Regulationsstörungen von Herz und Kreislauf (Angina pectoris, Herzinfarkt, Kreislaufkollaps) unter besonderen Umständen auslösen. Vor allem psychische Erschütterungen wie z. B. Angst, Bestürzung, Schrecken, aber auch Freude können zu diesen schwerwiegenden Folgen führen. Schreckreaktionen sind aber auch möglich, wenn die Gefahr bereits vorüber ist und retrospektiv zum Bewußtsein kommt. Das literarische Beispiel des Reiters vom Bodensee, der tot vom Pferd sinkt, als er die Gefahr erfaßt, in der er sich beim Ritt über den zugefrorenen See befand, wird von REINDELL⁵⁶ zitiert, der derartige Phänomene mit den Primitivreaktionen KRETSCHMERS³³ in Beziehung setzt, bei denen ein überstarker Erlebnisreiz die höheren Schichten der Persönlichkeit „durchschlägt“ und lähmt, so daß den Kontrollinstanzen entzogene, auffällig körperliche Reaktionen eintreten können. Diese abnormen Erlebnisreaktionen sind für unsere Betrachtungen an sich von untergeordneter Bedeutung, sie zeigen jedoch recht instruktiv, welches Ausmaß körperliche Äquivalente bei

geistigen Geschehnissen haben können. Auf die große praktische Bedeutung der „normalen“ psychischen Belastung des Kreislaufs für Klinik und Forschung haben in der letzten Zeit vor allem THAUER⁶⁴ und HOCHREIN²⁸ hingewiesen. Die Zusammenhänge zwischen emotionellen Vorgängen und Kreislaufreaktionen sind in den letzten Jahrzehnten besonders in den USA studiert worden, wobei eine allgemeine praktische Bedeutung der sog. Lügendetektor (Lei-detector-test) gewonnen hat. Über Blutdrucksteigerungen bei Soldaten im Fronteinsatz berichteten v. WITZLEBEN⁶⁹, FRASER und COWELL²³, EHRSTRÖM¹⁸ und LANG-BJELONOGOWA³⁵, bei Studenten, die unter dem Einfluß von Examen standen KNAUER³¹, HICKAM, CARGILL und GOLDEN²⁷. WOLF und SHEPARD⁷⁰ konnten zeigen, daß nicht gelöste Affektspannungen unter Umständen zu einer erheblichen Hypertonie führen, wie überhaupt unverarbeitete Konfliktsituationen nach WOLFF⁷¹, DELIUS und REINDELL¹⁵, STEVENSON und DUNCAN⁶⁰ und CHRISTIAN¹² eine schwere Belastung für den Kreislauf darstellen können. Aber auch Zeitmangel, Berufskampf, starke Licht- und Geräuschreize sowie andere exogene Einflüsse wirken sich auf den Kreislauf ungünstig aus, wie vor allem aus den Arbeiten von HOCHREIN²⁸, WYSS⁷², COHEN und WHITE¹³ und PIERACH⁵³ hervorgeht.

Diese Beobachtungen scheinen uns für die Beurteilung der heutigsten Verkehrssituation nicht ohne Bedeutung zu sein: Sind doch die Kraftfahrer laufend kleineren und größeren psychischen Insulten durch nicht vermeidbare Belästigungen oder Behinderungen ausgesetzt, die verständlicherweise zu affektiven Spannungen führen können, die der am Steuer Sitzende nicht abreagieren kann bzw. darf. Man denke an den Fahrer, der durch ein rücksichtsloses Verhalten eines anderen gefährdet wird und dem es durch die zögernde, langsame und verkehrsbehindernde Fahrweise eines Anfängers oder nicht Ortskundigen unmöglich ist, die „grüne Welle“ auszunutzen, dem der Verkehrspolizist unmittelbar vor Erreichung der Kreuzung die Richtung sperrt, der schnellstens zu einer wichtigen Sitzung muß und längere Zeit an einem Bahnübergang durch eine rangierende Lokomotive aufgehalten wird und der schließlich auf einer freien Landstraße die Geschwindigkeit seines Fahrzeuges nicht ausnutzen kann, weil es ihm nicht gelingt, in Kolonnen vor ihm fahrende Lastzüge zu überholen. Daß eine spannungsgeladene, reizbare Stimmungslage aus derartigen Situationen resultieren kann, ist verständlich, wenn auch quantitative und qualitative Unterschiede in der Aufnahme und Verarbeitung derartiger Erlebnisse je nach der seelischen Struktur des Individuums zu erwarten sind. Sicherlich wird der Choleriker sich eher zu einer unbeherrschten Handlung im Straßenverkehr hinreißen lassen als ein Phlegmatiker, aber schließlich gibt es genügend Beispiele von sonst zurückhaltenden, ruhigen und besonnenen Menschen, die am Steuer von Kraftfahrzeugen ihre Selbstbeherrschung verlieren und bei Behinderung durch andere Verkehrsteilnehmer Verhaltensweisen zeigen, die im krassen Gegensatz zu ihrer sonstigen Persönlichkeit stehen. Daß angestaute, spannungsgeladene Affekte die Verkehrssicherheit herabsetzen bedarf keiner Frage, daß sie aber auch beim Kraftfahrer zu einer erheblichen Belastung von Herz und Kreislauf führen und, auf längere

Zeit gesehen, Abnutzungsschäden zur Folge haben können, ergibt sich zwanglos aus den oben gemachten Ausführungen.

Nach diesem Überblick über die Zusammenhänge zwischen psychischer Belastung und Kreislaufreaktion erhebt sich die Frage, welche methodischen Möglichkeiten gegeben sind, um die Kreislaufverhältnisse des Kraftfahrers experimentell zu prüfen. In Betracht kommt nur eine Methode, die den Fahrer nicht behindert oder belästigt, die keine technischen Schwierigkeiten bereitet, die die Kreislauftätigkeit laufend registriert und zuverlässige Schlußfolgerungen über die psychophysische Belastungen erlaubt.

Klinische Untersuchungen wie z. B. die Blutdruckmessung, die Bestimmung der Austreibungs-Anspannungszeit des Herzens (BLUMBERGER⁶), die physikalische Kreislaufanalyse nach WEZLER-BÖGER⁶⁸, die Elektrokardiographie usw. erlauben zwar eine sehr eingehende und exakte Analyse des Kreislaufs, jedoch nur in Form stichprobenartiger Momentaufnahmen in einem eng begrenzten Zeitraum. Ein Reaktionsablauf mit rasch wechselnden Regulationsphasen, wie er beim Kraftfahrer zu erwarten ist, läßt sich durch derartige Untersuchungen kaum anschaulich darstellen. Eine fortlaufend registrierende Methode mit einem Gerät, das nicht zu empfindlich ist und die Erschütterungen während einer Fahrt mit dem Kraftfahrzeug verträgt, dürfte hierfür allein geeignet sein. Von psychologisch interessierter Seite (LEHMANN³⁶, KÜPPERS³⁴, UHLENBRUCH⁶⁵) sind zur Objektivierung der Reaktionsabläufe auf psychische Reize Untersuchungen mit der Methode der Extremitätenplethysmographie durchgeführt worden, die später mit fortlaufender Registrierung der Atmung, der Hauttemperatur und des arteriellen Blutdrucks kombiniert wurden (DOUPE, NEWMAN und WILKINS¹⁶). Diese Untersuchungsmethoden, besonders diejenigen, die mehrere Kreislaufgrößen gleichzeitig erfassen, sind durchweg an komplizierte und empfindliche Apparaturen gebunden, die darüber hinaus an die Netzspannung angeschlossen werden müssen und im allgemeinen nur stationär zu verwenden sind. Schließlich ist zu bedenken, daß die allenfalls in Betracht kommenden Geräte durch Anlegen von Manschetten eine Ableitung von der Versuchsperson erfordern, die die freie Betätigung der Gliedmaßen einschränkt und dem Probanden laufend zum Bewußtsein führt, daß er unter Kontrollbedingungen steht. Daß ein Kraftfahrer unter solchen Bedingungen nicht die sonst üblichen Reaktions- und Verhaltensweisen zeigen kann, ist selbstverständlich. Der Aussagewert von Blutdruckmessungen, wie sie AURENCHÉ² an Kraftfahrern bei verschiedenen Geschwindigkeiten durchgeführt hat, erscheint uns deshalb aus Gründen der Methodik und aus psychologischen Erwägungen begrenzt.

Veranlaßt durch frühere Untersuchungen über den Einfluß der Psyche auf die Pulsfrequenz (LEHMANN³⁶, WEBER⁶⁶, SHEPARD⁵⁹, MARTIUS⁴⁶, KÜPPERS³⁴, WEINBERG⁶⁷ u. a.), haben wir nun versucht, durch laufende Registrierung der Pulszahl Einblicke in die Reaktionsabläufe beim Kraftfahrer zu gewinnen. Es kam uns dabei weniger auf momentane Regulationsänderungen an, als auf die Erfassung größerer Zeitabschnitte. Zur Begründung der Pulsfrequenz als Maßstab der Kreislaufbelastung von Kraftfahrern sei an dieser Stelle noch folgendes ausgeführt:

Die Anpassung des Kreislaufs an die wechselnden Bedürfnisse des Organismus erfolgt nach den Erkenntnissen der Physiologie vor allem durch die Veränderung

zweier variabler Funktionsgrößen, nämlich der Schlagfrequenz und des Schlagvolumens. Wenn auch bei körperlich besonders leistungsfähigen, durchtrainierten Menschen ein erhöhter Blutbedarf der Muskulatur durch eine Vergrößerung des Schlagvolumens gedeckt wird, so ist doch andererseits festzustellen, daß die Frequenzänderung wohl die wirksamste Maßnahme seitens des Herzens ist, da sie sich bei größeren Anforderungen sehr schnell und in einem Verhältnis von 1:3 ändern kann (BOHNENKAMP⁷). LUNDGREEN⁴¹ verwendete bei körperlicher Arbeit die Reaktion der Pulsfrequenz als indirekten Test zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit. Wird die geforderte Arbeit, wie CHRISTENSEN⁹ postuliert, nach Art und Größe zur reproduzierbaren Konstanten gestaltet und nur Pulszählungen, die zu derselben Zeit nach Anfang der Arbeit ausgeführt werden, miteinander verglichen, so ist nach MÜLLER⁴⁸ die Pulszahl Ausdruck des peripheren Austausches und der zentralen Kreislaufbelastung. Unter dem peripheren Stoffaustausch werden Vascularisierung und O₂-Ausnutzung der tätigen Organe verstanden, wobei seine Größe von dem Trainingszustand dieser Organe abhängig ist. MÜLLER⁴⁸ wies nach, daß durch Training bei gleichem O₂-Verbrauch die Pulsfrequenz und das Schlagvolumen absinken, während durch bessere O₂-Ausnutzung der arbeitenden Organe (Muskeln) die Leistung dagegen ansteigt. Gleiche Leistung wird demnach bei einem trainierten, leistungsfähigen Organismus nur mäßigen Pulszuwachs zeigen, der leistungsschwache Organismus wird demgegenüber mit erheblichem Pulszuwachs als Zeichen des überforderten Kreislaufs reagieren. So konnte CHRISTENSEN¹⁰ auf die unterschiedlichen Kreislaufreaktionen seiner Versuchspersonen hinweisen, von denen eine Gruppe bei mäßiger Arbeitsverrichtung das Schlagvolumen bei steigender Pulsfrequenz konstant erhielt, während die andere bei konstantem Pulsniveau das Schlagvolumen veränderte. Bei erhöhter Anforderung stieg die Pulskurve der 1. Gruppe steil an, während die der 2. Gruppe nur einen mäßigen Pulszuwachs erbrachte. MÜLLER⁴⁹ gelang es dann, die Steilheit des Anstiegs der Pulsfrequenz je Meter kg/sec wachsende Leistung als Maß der individuellen körperlichen Leistung zu definieren (Leistungspulsindex). Auch COLLET und LILJESTRAND¹⁴ stellten fest, daß bei einem mit erhöhtem O₂-Verbrauch einhergehender Leistungszuwachs von dem trainierten Organismus vor allem durch Verbesserung des peripheren Stoffaustausches und nur in geringem Maße durch Zunahme des Minutenvolumens geleistet wird, während der untrainierte, überlastete Körper vorwiegend bei steilem Pulsanstieg auf eine beschleunigte Herztätigkeit zurückgreife. Diese Auffassung wird von CHRISTENSEN¹¹ in einer zusammenfassenden Arbeit bestätigt, der zu entnehmen ist, daß bei körperlicher Arbeit lineare funktionelle Beziehungen zwischen O₂-Verbrauch, Stoffwechsel und Pulsfrequenz bestehen, die bei Leistungsanforderungen in gesetzmäßiger Weise zum Ausdruck kommen. In Abhängigkeit von der individuellen Leistungsfähigkeit variieren die Funktionsgrößen jedoch teilweise beträchtlich.

Wie liegen nun die Verhältnisse bei psychischen Vorgängen? Auf die in früheren Untersuchungen festgestellte Kreislaufbelastung durch seelische Geschehensabläufe wurde bereits eingehend hingewiesen. Es fragt sich, ob hier, ähnlich wie bei der körperlichen Arbeit, die Pulsfrequenz ebenfalls als Maßstab für psychische Belastung angesehen werden kann. Zwar ist nach der Ansicht von namhaften Physiologen wie REIN⁵⁵ und ABDERHALDEN¹ geistige Arbeit mit keinem deutlich meßbaren Energieumsatz verbunden. Dies gilt aber nur für bestimmte psychische Verhaltensweisen, wie intuitives Erfassen eines Denkgegenstandes und kontemplative Haltung, während emotional-affektive

Reaktionen und Wille zur Leistung bei entsprechender Stärke zu signifikanten Stoffwechselsteigerungen führen, wie von EIFF¹⁹ in experimentellen Untersuchungen überzeugend darlegen konnte. Nach HOFF²⁹ lösen Umweltereignisse über die Bewußtseins- und Willenssphäre Handlungen aus, die vegetative Umstellungen im Sinne der Leistungssteigerung von Herz, Kreislauf und Atmung erfordern. Daß dem Nebennieren-Hypophysensystem im Rahmen dieser vegetativen Gesamtschaltung eine besondere Bedeutung zukommt, ist von SELYE⁵⁸ betont worden, während HOFF darauf hinweist, daß die einheitliche Steuerung der wichtigsten vegetativen Funktionen von Zentren aus erfolgt, die ihren Sitz im Zwischenhirn haben. Er verweist dabei auf die Übereinstimmung der eigenen, durch klinische Forschung gewonnenen Erkenntnisse und den auf tiereperimentellen Ergebnissen basierenden Ansichten von W. R. HESS²⁶, nach denen vom Zwischenhirn aus komplexe Reaktionen im Sinne der ergotropen (sympathischen) bzw. trophotropen (parasympathischen) Kollektivleistung gesteuert werden. Untersuchungen von LEHMANN und KINZTUS³⁹ haben ergeben, daß in der ergotropen Phase der Nebenniere eine besondere Rolle zufällt. Sie wiesen nach, daß der Adrenalinogengehalt des Blutes der Leistungsdisposition weithin parallel geht. Ein Anstieg findet sich nach LEHMANN³⁷ immer dann, wenn ein subjektives Gefühl des Wohlbefindens und der Leistungsfrische vorhanden ist, ein Absinken bei dem subjektiven Gefühl der Ermüdung und Leistungsfähigkeit. Andererseits findet man bei zu affektiven Spannungen führenden Einflüssen eine Vermehrung des Adrenalinogehaltes im Blut. So konnte OKAMURA⁵¹ beim Menschen nach Aufregung bis zu 20fache Erhöhung beobachten, während LEHMANN und MICHAELIS³⁸ bei gereizten Hunden eine 20—35%ige Steigerung der Adrenalinogenmenge sahen. In Anbetracht dieser nervalen und hormonalen Regulationsmechanismen lag die Vermutung nahe, daß der Pulsfrequenz als Kriterium des jeweiligen ergotropen Funktionszustandes und damit als Maßstab der psychischen Belastung eine wesentliche Bedeutung zukommt. Gemeinsam mit BOHNÉ⁴² und PRÜLL⁵⁴ durchgeführte Pulsfrequenzbestimmungen bei psychotechnischen Versuchen haben jedenfalls ähnliche Pulskurven ergeben wie die von MÜLLER und CHRISTENSEN bei körperlichen Arbeiten ermittelten mit initialem Pulsfrequenzanstieg und erhöhtem Arbeitspuls. Anstelle einer vergrößerten Erholungspulssumme jedoch konnte zumeist ein Absinken der Pulswerte unter den Ausgangsrühewert festgestellt werden. Den Pulskurvenverlauf von 5 Studenten bei einem halbstündigen Rechentest nach KRAEPELIN³² und PAULI⁵² zeigt die Abb. 1.

Daß die Pulsfrequenzzunahme bei diesem Versuch tatsächlich der Ausdruck einer vegetativen Belastung ist, zeigen die Untersuchungen von V. EIFF und GÖPFERT²⁰, die bei dem gleichen Rechentest durchschnitt-

liche Umsatzsteigerungen von 16,6% und 20% beobachteten. Ähnliche Erhöhungen des Energieumsatzes von Kraftfahrern wurden von FLETSCHER²² bei Fahrversuchen mit Personen- und Lastkraftwagen festgestellt.

Pulsfrequenzschwankungen beim Menschen sind durch den Pulsordinatenschreiber von FLEISCH²¹ anschaulich registriert worden. Ein rein elektrischer Ordinaten-schreiber wurde von STURM und WOOD⁶³ beschrieben, er wurde gesteuert von der R-Zacke des EKG, war aber auch jedem anderen Auslösungsvorgang (Volumenpuls, Druckpuls) anzupassen.

MATTHES⁴⁷ verwandte erstmalig zur Auslösung eines elektrischen Pulsordinatenschreibers die Verdunklung einer Photozelle durch die einzelnen

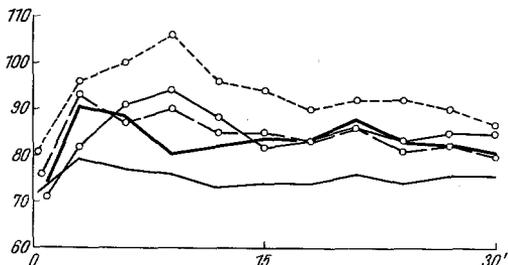


Abb. 1. Pulskurvenverlauf von 5 Studenten bei einem Arbeitsversuch nach KRAEPELIN-PAULI

Pulse eines durchleuchteten Ohrläppchens. Mit einem empfindlichen Spiegel-Galvanometer wurde die Pulskurve auf ein Photomyographion aufgezeichnet. In Anlehnung an dieses Prinzip entwickelte E. A. MÜLLER⁵⁰ einen photoelektrischen Pulszähler, der für unsere Zwecke besonders geeignet erschien. Das Gerät registriert die mit dem Blutstrom-Puls einhergehenden Veränderungen der Lichtdurchlässigkeit des Ohrläppchens als Änderung des Photozellen-Stromes. Die schwachen Impulse der Photozelle werden soweit verstärkt, daß ein Zählwerk mit jedem Puls um eine Zahl vorrückt.

Bei einer Probefahrt zeigte sich, daß der Pulszähler für unsere geplanten Untersuchungen sehr gut geeignet war, indem er fast ideale Versuchsbedingungen ermöglichte: keine Behinderung des Fahrers, technisch einwandfreie Handhabung, Möglichkeit einer laufenden Registrierung auch bei Langstreckenfahrten und einwandfreie Arbeitsweise bei hohen Geschwindigkeiten und schlechten Straßen. Wir mußten jedoch feststellen, daß die Begleitperson der Aufgabe, jeweils nach 1 min am Zählwerk die Pulssumme abzulesen und aufzuschreiben, auf die Dauer nicht gewachsen war und nur mit Mühe bis zum Ende der Fahrt durchhielt. Damit ergab sich die Notwendigkeit, ein automatisches Zählwerk anzuschließen. Da ein von E. A. MÜLLER zum Pulszähler entwickeltes Druckzählgerät Netzspannung benötigte und deshalb für unsere Fahrversuche nicht verwendbar war, wurde uns von der Firma Keller & Co. (Berlin, Hageberger Str. 52) ein Druckzählwerk mit Uhrwerksantrieb zum Anschluß an eine 6 Volt-Autobatterie hergestellt. Aus technischen Gründen konnte nur ein Uhrwerk mit einer Laufzeit von etwa 30 min verwendet werden, das jeweils vor Ablauf neu aufgezogen werden mußte, was jedoch ohne Unterbrechung der minütlichen Pulszählung möglich war. Für den Pulszähler und das Druckzählwerk ließen wir je ein Gestell mit zusätzlicher Schaumgummipolsterung anfertigen, das einfach an der Rücklehne des Fahrersitzes zu

befestigen war. Die Abb. 2 zeigt eine Versuchsperson vor einer Testfahrt. Die Geräte sind so angebracht, daß sie von einer Begleitperson leicht bedient bzw. kontrolliert werden können.

Die Versuchsfahrten wurden durchgeführt mit einem Pkw Opel Rekord. Mit Ausfahrten der Teststrecken wurden dabei insgesamt etwa 5000 km zurückgelegt. Mehrmals mußten die Versuche durch äußere Umstände unterbrochen werden, z. B. dann, wenn durch Behinderung von langsamer fahrenden Fahrzeugen die vorgesehene Geschwindigkeit nicht eingehalten werden konnte. Bei jeder Testfahrt wurde darauf



Abb. 2. Testfahrer mit angeschlossenem Pulszähler und Druckzählwerk

geachtet, daß die Versuchsperson frisch und ausgeruht das Steuer übernahm. Voraussetzung waren: 4stündige Nüchternheit und unter Berücksichtigung der Untersuchungen von SCHEUBLE und MÜLLER⁵⁷ kein vorheriger Kaffee- und Nicotinguß. Auch während der Fahrt durfte der Proband nicht rauchen. Bei den Versuchspersonen handelt es sich um gesunde, jüngere Männer, die durchweg geübte und erfahrene Kraftfahrer waren. Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, wurden die Versuche unter weitgehend gleichen Bedingungen durchgeführt. Berücksichtigt wurden dabei unter anderem die Versuchszeit, die Witterungs- und Straßenverhältnisse, die Verkehrsdichte, die Temperatur und die Frischluftzufuhr im Wagen.

Zur anschaulichen Darstellung der Fahrweise wurden die Pulsfrequenzbestimmungen mit den Aufzeichnungen eines Tachographen (Fahrtenschreibers) koordiniert, der uns freundlicherweise von der Firma Kienzle-Apparate GmbH, Villingen, zur Verfügung gestellt worden war. Für die erste Testfahrt wurde der normale Tachograph mit einer 24-Std-Diagrammscheibe benutzt, während wir für die weiteren Versuche ein Gerät für 3-Std-Aufzeichnungen verwenden konnten, das die Einzelheiten deutlicher hervortreten läßt. Die neben den Puls-

kurven dargestellten Diagramm-Segmente geben somit ein objektives Bild des Fahrtablaufes¹.

Das Ergebnis der ersten Fahrt zeigt die Abb. 3. Aus dem Diagramm ist zu entnehmen, daß die Fahrt um 10,¹⁷ Uhr vormittags begann und gegen 11,³⁷ Uhr endete. Zuerst wurde das Stadtgebiet von Dortmund durchfahren, was die Geschwindigkeitskurve in Form laufenden Abbremsens und Beschleunigens erkennen läßt. Dann wurde nach einer kurzen Pause eine Autobahnstrecke mit 40 km/h befahren, anschließend auf 70 km/h beschleunigt. Nach einer kurzen Pause wurde gewendet

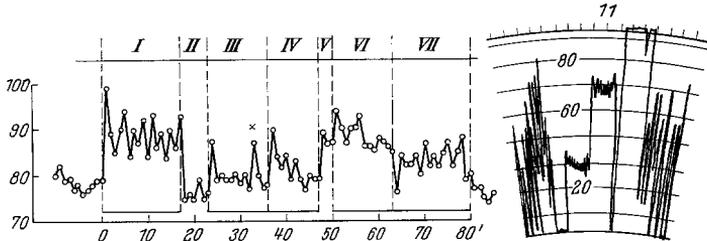


Abb. 3. Pulskurve von einer Stadtdurchfahrt und einer Fahrt auf der Autobahn mit verschiedenen Geschwindigkeiten. Teilstrecken: I. Fahrt durch das Stadtgebiet Dortmund. II. Pause. III. Fahrt auf der Autobahn bei 40 km/h. IV. Fahrt auf der Autobahn bei 70 km/h. V. Pause mit Wenden über den Mittelstreifen. VI. Fahrt auf der Autobahn bei 100 km/h. VII. Rückfahrt durch das Stadtgebiet von Dortmund. (Fahrer: L., 35 Jahre alt, nicht ortskundig)

und die gleiche Autobahnstrecke mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h zurückgefahren. Nach der Abfahrt von der Autobahn wurde das Stadtgebiet von Dortmund bis zum Ausgangspunkt erneut durchquert, diesmal jedoch auf einer anderen Fahrstrecke.

Die Pulskurve dieser ersten Versuchsfahrt zeigt einen starken initialen Anstieg nach einem Ruhepuls zwischen 75 und 80. Während der Fahrt durch das Stadtgebiet bleiben die Pulswerte bei starken Schwankungen wesentlich über dem Ausgangswert. Sie sinken während einer etwa 6 min dauernden Fahrpause an der Auffahrt zur Autobahn bis teilweise unter den Ausgangspuls ab. Bei dem nun folgenden Fahrabschnitt mit 40 km/h auf der Autobahn kommt es erneut zu einem Pulsanstieg, der jedoch nicht so stark ausgeprägt ist, mit anschließendem deutlichen Absinken. Der Pulszacke bei der Marke X entspricht zeitlich eine Fahrbehinderung durch Fahrbahnwechsel. Nach Steigerung der Geschwindigkeit auf 70 km/h kommt es erneut zu einem stärkeren Pulsanstieg mit anschließendem, jedoch etwas langsamerem Absinken. Während einem nunmehr folgenden kurzen Anhalten, bei dem mit höchster Konzentration und Aufmerksamkeit eine günstige Gelegenheit zum Wenden über den Mittelstreifen abgewartet wird, steigen die Pulswerte im Gegensatz zu der „echten Pause“ (Abschnitt II) stark an. Die anschließende Beschleunigung auf 100 km/h ergibt deshalb nur einen verhältnismäßig geringen initialen Pulsanstieg. Im weiteren Verlauf dieses mit hoher Geschwindigkeit gefahrenen Abschnittes (VI) sinken die Pulswerte nur mäßig ab und bleiben deutlich über dem Ruhepuls. Bei der Rückfahrt durch das Stadtgebiet (VII) sind wiederum

¹ Zur besseren Darstellung wurden die Fahrtschreiberdiagramme von den Originalvorlagen abgezeichnet.

deutliche Pulsschwankungen erkennbar, die Höhe der Pulswerte des 1. Fahrtabschnittes wird jedoch nicht mehr erreicht.

Angeregt durch dieses Ergebnis haben wir zu verkehrsarmer Zeit auf der Autobahn bei Frankfurt a. M. Testfahrten durchgeführt, die den Einfluß der Geschwindigkeit auf die Pulsfrequenz zeigen sollten. In Vorversuchen wurde zunächst festgestellt, daß der initiale Pulsanstieg um so größer war, je schneller der Wagen beschleunigt wurde. Um-

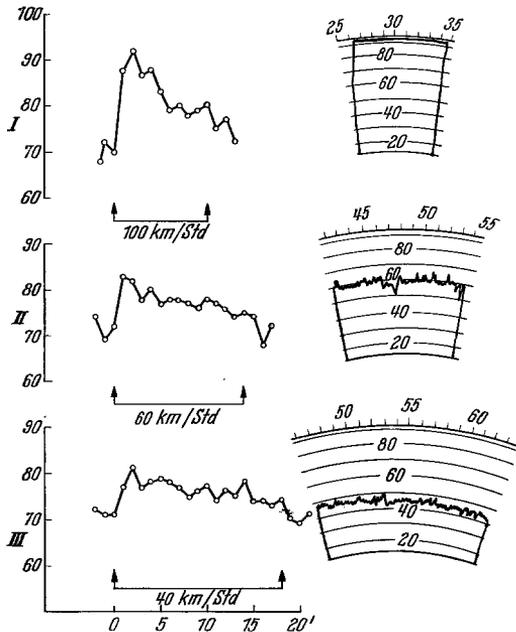


Abb. 4. Pulskurvenverlauf bei 3 Fahrten auf der Autobahnstrecke Frankfurt a. M. — Friedberg. (Fahrer: Ap.)

gekehrt zeigte sich, daß bei sehr schnellem Abbremsen, besonders bei hohen Geschwindigkeiten, die Pulsfrequenz nicht geringer wurde, sondern anstieg. Die Fahrer wurden deshalb angewiesen, zu Fahrtbeginn zwar zügig zu beschleunigen, um die gewünschte Geschwindigkeit zu erreichen, am Ende der Teststrecke den Wagen jedoch langsam zum Stehen zu bringen bzw. ausrollen zu lassen. Für die erste Testserie standen 5 erfahrene Kraftfahrer zur Verfügung, die nicht über 35 Jahre alt waren: 2 Beamte der Frankfurter motorisierten

Verkehrsüberwachung,

ein Autoverkäufer, ein 34jähriger Student, der sich die finanziellen Mittel für sein Studium als Fernfahrer auf schweren Lastzügen verdient hatte, sowie der bekannte Leichtathlet H. Ulzheimer, mehrfacher deutscher Meister im 800 m Lauf und Olympiasieger (Bronzemedaille) 1952 in Helsinki. Da es sich bei letzterem nicht nur um einen körperlich sehr leistungsfähigen Sportler, sondern auch um einen guten und routinierten Kraftfahrer (Beruf: Kraftfahrzeugmeister) handelte, schien er für unsere Versuche in besonderem Maße geeignet.

Bei einem Vergleich der Pulskurven (Abb. 4 und 5) zeigte sich übereinstimmend ein mehr oder weniger starker initialer Pulsanstieg, der innerhalb individueller Grenzen offenbar von dem Grad der Beschleunigung abhängig ist. Die Pulszahlen sinken dann gleichmäßig

oder wellenförmig ab, und zwar zu Beginn der Fahrt meist stärker, am Ende nur noch gering oder gar nicht mehr, sie bleiben aber bis zum Schluß nachweisbar über dem Ruhepuls. Bei allen Versuchspersonen war bei hohen Geschwindigkeiten die Pulsfrequenzsteigerung und auch

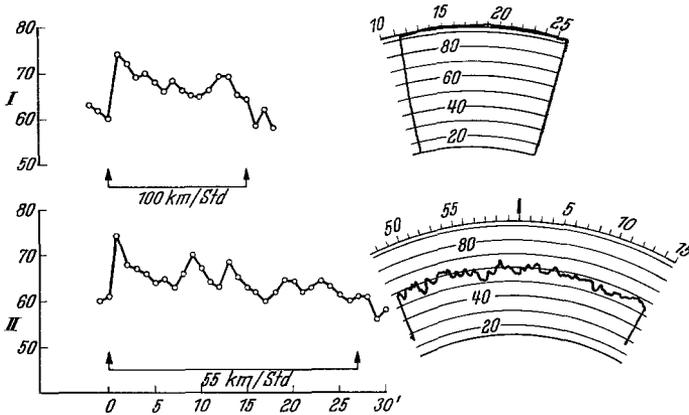


Abb. 5. Fahrstrecke: Autobahn Frankfurt a. M.—Bad Nauheim. (Fahrer: H. Ulzheimer)

die Gesamtpulssumme während des Fahrversuches deutlich größer als bei langsamer Fahrt. Voraussetzung dafür war allerdings, daß die Fahrer sich nicht zu stark auf die Tachometernadel konzentrierten, um die Fahr-

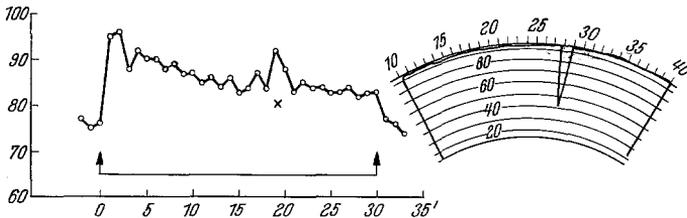


Abb. 6. Fahrt auf der Autobahn mit 100 km/h. Dauer 30 min. Bei x Überholungsvorgang mit Geschwindigkeitsabfall. (Fahrer: L.)

weise so konstant wie möglich zu gestalten. Zur Vermeidung von Spannungszuständen durch Konzentration auf den Tachometer haben wir deshalb nach Vorversuchen den Testfahrern erklärt, daß es auf eine genaue Einhaltung der Geschwindigkeit nicht ankomme. Dies erklärt die teilweise recht deutlichen Schwankungen der Fahrtschreiberdiagramme. Daß auch bei längeren Fahrten mit hoher Geschwindigkeit die Pulswerte deutlich über dem Ruhepuls bleiben, zeigt die Abb. 6. Nach einem initialen Anstieg der Pulswerte um etwa 20 sinkt die Pulskurve bei einer Dauergeschwindigkeit von etwa 100 km/h zunächst langsam ab und bleibt dann etwa von der 10. min an bis zum Versuchsende nach

30 min in etwa gleicher Höhe bei 10—12 Pulsschlägen über dem Ruhewert. Bei der Marke \times findet sich ein deutlicher Pulsanstieg, der zeitlich einer Fahrbehinderung durch gegenseitig sich überholende Lastwagen entspricht, wobei die Geschwindigkeit auf 40 km/h gedrosselt werden mußte, wie das Fahrtdiagramm zwischen den Zeitmarken 25 und 30 deutlich erkennen läßt.

Besonders anschaulich zeigt die Abb. 7 den Einfluß der Geschwindigkeit bei unbehinderter Fahrweise auf der Autobahn.

Die Fahrtdauer betrug insgesamt 19 min, davon wurden die ersten 9 min mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h, die folgenden 6 min mit 50 km/h und die

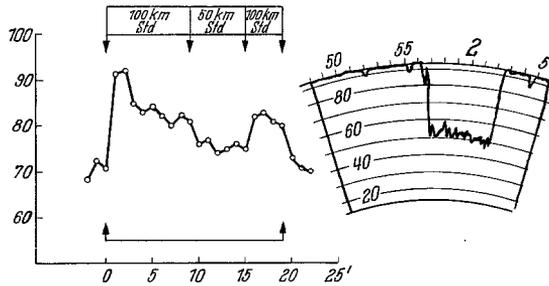


Abb. 7. Versuchsfahrt auf der Autobahnstrecke Frankfurt a. M.—Bad Nauheim bei wechselnder Geschwindigkeit. (Fahrer: Ap.)

restlichen 4 min wiederum mit 100 km/h gefahren. Die Pulskurve zeigt den zu Beginn üblichen Verlauf mit initialem Anstieg und anschließendem Absinken. Mit Beginn der gedrosselten Geschwindigkeit gehen die Pulswerte nochmals deutlich zurück, um bei der erneuten Beschleunigung auf die alte Geschwindigkeit wieder anzusteigen. Vergleicht man die Kurven der Abb. 6 und 7, so zeigt sich, daß im 1. Fall die Drosselung bzw. Verminderung der Fahrgeschwindigkeit mit einem Pulsanstieg, im 2. Fall dagegen mit einem Absinken der Pulswerte verbunden war. Diese unterschiedliche Reaktionsweise dürfte ihre zwanglose Erklärung darin finden, daß der Geschwindigkeitsabfall in der 1. Kurve (Abb. 6) durch eine äußere Behinderung ausgelöst wurde, wobei der Fahrer gleichzeitig gezwungen war, sich mit konzentrierter Aufmerksamkeit auf die neue und nicht ungefährliche Verkehrssituation einzustellen, während im 2. Fall (Abb. 7) die Verringerung der Fahrgeschwindigkeit freiwillig und ohne äußeren Zwang erfolgte. Dies spricht dafür, daß die im Pulsverhalten erfaßbar vegetative Spannung des Kraftfahrers im besonderen Maße von der Einstellung auf die jeweilige Verkehrssituation mit ihren unterschiedlichen Anforderungen abhängt. Die folgenden Kurven stützen diese Ansicht, indem sie die wechselnden Pulsreaktionen bei ungleichen und zum Teil sehr schwierigen Fahrbedingungen zeigen.

Die obere Kurve in Abb. 8 zeigt die Pulswerte eines 27 Jahre alten Kraftfahrers nach einer Abfahrt von einem Parkplatz im Anschluß an eine große Sportveranstaltung, wobei innerhalb einer dreigliedrigen Schlange von Fahrzeugen in 14 min eine Strecke von knapp 2 km zurückgelegt werden konnte. Während dieses Fahrtabschnittes mit dauerndem Anhalten und Anfahren und ständiger Beachtung der

Abstände zu den voraus- und seitwärtsfahrenden Kraftfahrzeugen war ein hohes Maß an konzentrierter Aufmerksamkeit erforderlich. Nach 14 min „Kolonnenfahrt“ konnte der Fahrer in eine breite Ausfallstraße einbiegen, in der er nach 4 min unbehinderter und zügiger Fahrt anhielt. Während dieses letzten Fahrtabschnittes sank die Pulsfrequenz ab, obwohl eine höhere Geschwindigkeit gefahren wurde. Die untere (ausgezogene Kurve) stammt von einer Testfahrt, die 3 Tage später an der gleichen Stelle bei weitgehend gleicher Fahrweise und Geschwindigkeit durchgeführt wurde, diesmal jedoch unbeeinflusst von äußeren Bedingungen bei sehr geringem Verkehr: Die Puls- werte liegen wesentlich niedriger als bei dem 1. Versuch und im Durch- schnitt nur wenig über dem Ruhepuls. Fahrtdiagramme konnten in diesem Fall nicht angefertigt werden, da der Tachograph Fahrten im unteren Ge- schwindigkeitsbereich, d. h. bis zu etwa 25 km/h, nicht einwandfrei registriert.

Den Einfluß der vegetativen Span- nung durch höchste Konzentration zeigt auch recht eindrucksvoll die folgende Testserie (Abb. 9), bei der Fahrten mit hoher Geschwindigkeit unter ungleich schwierigen Be- dingungen durchgeführt wurden, und zwar einmal bei optimalen Sicht- und Witterungsverhältnissen, zum anderen bei Dunkelheit, Nässe und Nebel.

Die Pulskurve des 27 Jahre alten Fahrers zeigt beim 1. Versuch (Fahrt bei Nebel) einen starken initialen Anstieg und bleibt dann bis etwa zur Hälfte der Fahrstrecke ungefähr in gleicher Höhe, um dann ganz langsam abzusinken. Die Geschwindigkeit lag etwa zwischen 60 und 80 km/h und war bei den gegebenen Sichtverhältnissen ohne Zweifel sehr hoch und nicht ganz ohne Risiko. Der Puls- kurvenverlauf während der 2. Fahrt, bei der ein ziemlich starker Gegenverkehr herrschte, der bei spiegelnder Fahrbahn häufig zur Blendwirkung führte, läßt nach dem initialen Anstieg bis zum Ende der Fahrt, keine absinkende Tendenz erkennen. Die 3. Pulskurve stammt ebenfalls von einer Nachtfahrt, jedoch bei trockener Fahrbahn und guten Sichtverhältnissen, sie verläuft etwa in gleicher Weise wie die bereits früher gezeigten Kurven bei Testfahrten mit derselben Geschwindigkeit und optimalen äußeren Bedingungen. Die Pulszacke bei X geht auf einen etwas riskanten Überholvorgang zurück.

Um unabhängig von schwierigen Verkehrssituationen den Einfluß der Konzentration auf Umwelteinflüsse festzustellen, wurde bei einer Testfahrt eine Aufmerksamkeitsprüfung eingeschaltet: Während einer 30-min-Fahrt mit 100 km/h Geschwindigkeit auf der Autobahn bei guten Sicht- und Fahrbahnverhältnissen wurde dem Fahrer plötzlich

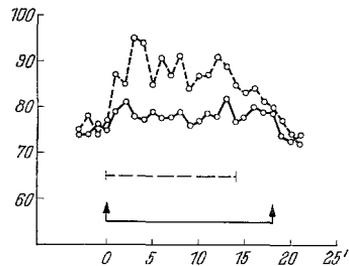


Abb. 8. Pulskurve nach einer Fahrt in einer Autokolonne bei Schritttempo (obere Kurve). Nach 14 min unbehinderter Weiterfahrt auf einer Ausfallstraße. Untere Kurve: Pulsverlauf bei einer Fahrt auf gleicher Strecke mit derselben Geschwindigkeit ohne äußere Behinderung

die Auflage erteilt, alle Einzelheiten der Fahrstrecke genau zu beachten und sich zu merken (z. B. entgegenkommende Fahrzeuge, überholte und überholende Fahrzeuge, Hinweisschilder u. a. m.). Die Dauer dieses

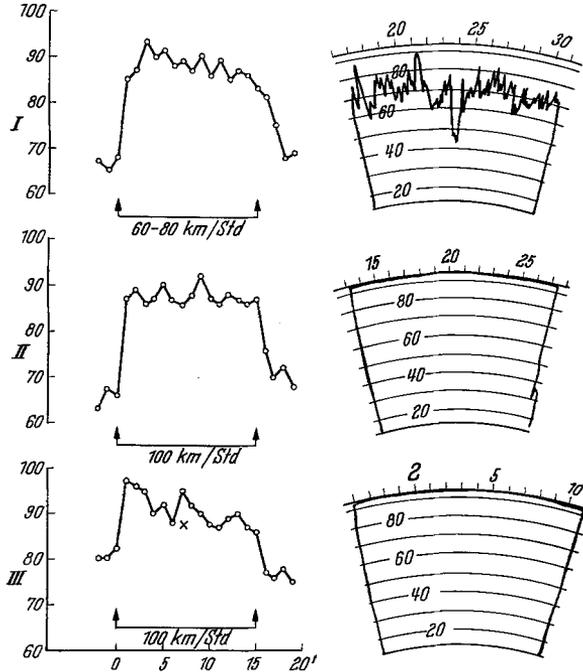


Abb. 9. Drei Fahrten auf der Autobahn bei unterschiedlichen Witterungs- und Sichtverhältnissen. Kurve I: Fahrt bei Nebel. Kurve II: Fahrt bei Dunkelheit und nasser Fahrbahn. Kurve III: Fahrt bei Dunkelheit und trockener Fahrbahn — bei Marke \times Überholungsvorgang. (Fahrer: D.)

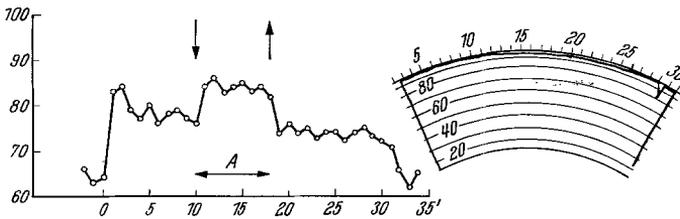


Abb. 10. Halbstündige Fahrt mit 100 km/h. Bei Markierung *A* Aufmerksamkeitsprüfung. (Fahrer: D.)

„Auftrages“ wurde auf 8 min begrenzt. Die Pulskurve der Abb. 10 zeigt das Ergebnis.

Die Kurve zeigt den üblichen initialen Pulsanstieg mit anschließendem langsamen Absinken. Nach 10 min, durch einen nach unten zeigenden Pfeil markiert, beginnt die Aufmerksamkeitsprüfung und endet bei dem nach oben zeigenden Pfeil. Man erkennt in diesem Zeitraum einen deutlichen Pulsanstieg, der die

initialen Pulswerte noch übersteigt und bis zum Ende dieses Versuches etwa in gleicher Höhe bleibt. Anschließend deutlicher Abfall mit einem der Geschwindigkeit entsprechenden weiteren Kurvenverlauf.

Nach einer kurzen Prüfung zeigte sich, daß der Fahrer sich die meisten Ereignisse und Eindrücke während der Aufmerksamkeitsprüfung gemerkt hatte, während er für die übrigen Zeitabschnitte nur bruchstückartige „Erinnerungsinseln“ besaß, und zwar nur für Vorgänge, die mit einem besonderen Erlebniswert verbunden waren. Dieses Beispiel zeigt instruktiv, daß Aufmerksamkeitsleistungen, die einen hohen Bewußtseinsaufwand erfordern, eine bedeutende vegetative Spannung und

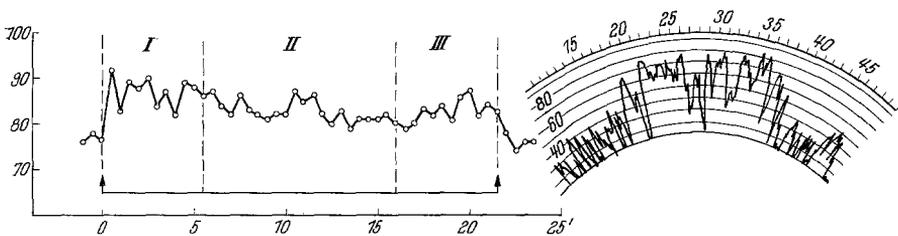


Abb. 11. Fahrstrecke: I. Fahrt durch das Stadtzentrum von Frankfurt a. M. (Gegend Hauptbahnhof). II. Fahrt vom Messegelände über die Autostraße nach Höchst (Tankstelle Engel) und zurück. III. Gleiche Fahrstrecke wie I, nur in umgekehrter Richtung

Kreislaufbelastung zur Folge haben. Der Anteil der „bewußten Aufmerksamkeit“ ist bei Fahrten im Stadtgebiet bei der großen Verkehrsdichte und der Fülle von wechselnden und zum Teil schwierigen Situationen beim Kraftfahrer besonders groß, während die „unbewußte“ Aufmerksamkeit, deren Bedeutung für die Verkehrssicherheit wir bereits früher hervorgehoben haben (LUFF⁴³⁻⁴⁵), bei Fahrten auf übersichtlichen und wenig Abwechslung bietenden Landstraßen und Autobahnen vorherrscht. Diese Auffassung, die BORNEMANN⁸ aus einer interessanten Versuchsreihe ableitete, wird durch die Ergebnisse unserer Fahrversuche gestützt: Schon die 1. Versuchsfahrt (Abb. 3) läßt besonders hohe Pulswerte während der Ortsdurchfahrt von Dortmund erkennen. Bei einer weiteren Testfahrt (Abb. 11) konnte ein ähnlicher Pulskurvenverlauf festgestellt werden.

Die Fahrt führt durch das Stadtzentrum von Frankfurt a. M. zur Autostraße nach Wiesbaden und zurück und ist in 3 Abschnitte eingeteilt: 1. Fahrt durch das Stadtgebiet, 2. Fahrt auf der Autostraße bis Frankfurt a. M.-Höchst und zurück, 3. Fahrt durch das Stadtgebiet. Die Pulsfrequenz des ortskundigen Fahrers (Hauptwachtmeister D. von der motorisierten Verkehrsüberwachung Frankfurt a. M.) ist im 1. Fahrabschnitt deutlich erhöht, sie sinkt während der Fahrt auf der Autostraße trotz höherer Geschwindigkeit (vgl. Diagramm!) ab, um nur vorübergehend am Wendepunkt (Tankstelle Auto-Engel) leicht anzusteigen. Im 3. Fahrabschnitt kommt es nochmals zu einem mäßigen Anstieg, wobei die Ausgangswerte nicht mehr ganz erreicht werden.

Daß die Pulsfrequenz von der Erfahrung und Fahrpraxis abhängig ist, läßt schließlich die Abb. 12 erkennen: Die obere Kurve zeigt die Puls-
werte einer jüngeren Frau bei einer Testfahrt auf der Autobahn von
15 min Dauer bei 100 km/h nach einer Fahrpraxis von etwa 500 km,

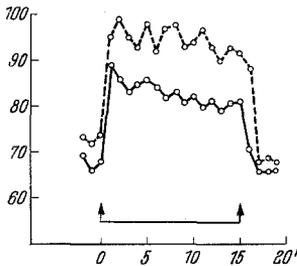


Abb. 12. Pulskurvenverlauf bei einer Fahrt auf der Autobahn mit 100 km/h (15 min). Strichkurve: nach 500 km Fahrpraxis. Ausgezogene Kurve: nach 5000 km Fahrpraxis

die untere Kurve dagegen den Pulsverlauf der gleichen Fahrerin unter entsprechenden Bedingungen ein Jahr später bei einer Fahrpraxis von rund 5000 km. Dieser unterschiedlichen Belastung des Kreislaufs entsprach im übrigen auch subjektiv das Gefühl einer wesentlich größeren Anstrengung und Anspannung bei der 1. Fahrt.

Die unter verschiedenen Bedingungen ermittelten Pulskurven lassen erkennen, daß die vegetative Anspannung und Kreislaufbelastung beim Kraftfahren von folgenden Faktoren abhängt:

1. von dem Risikoerlebnis der Verkehrssituation,
2. von der jeweiligen Beanspruchung der Bewußtseinskapazität,
3. von der Routine und Fahrpraxis,
4. von der inneren Einstellung zur Fahrtsituation (Leistungsbereitschaft),
5. von psychologischen Momenten (z. B. fallender Erlebniswert der Umweltreize),
6. von der psychophysischen Leistungsfähigkeit des Fahrers und seiner Disposition.

Daß die physikalisch-mechanischen Einflüsse der Geschwindigkeit, der Beschleunigung und der Bremsverzögerung die Pulsfrequenz des Fahrers nicht nur unmittelbar, sondern in erster Linie über psychische Vorgänge, wie Risikoerlebnis, Aufmerksamkeitsänderungen, Bewußtseinsaufwand u. a. erhöhen, ergibt sich zwanglos aus den Ergebnissen unserer Versuchsreihen. Auch die Pulsfrequenzbestimmung von einem Beifahrer (Nichtkraftfahrer), die anlässlich einer Überprüfung des Pulszählers durchgeführt wurde, ließ keine direkte Einwirkung der Geschwindigkeit erkennen. Da die „innere Spannung“ eines Mitfahrers zudem vom bewußten Miterleben der Situation und vom Vertrauen zum Fahrer abhängt, haben wir von einer systematischen Untersuchung anderer Fahrzeuginsassen absehen können. Der auffällig hohe Verlauf der Pulskurven bei Stadtfahrten und das zum Teil erhebliche Ansteigen bei schwierigen und gefährlichen Situationen läßt den Schluß zu, daß die physische und psychische Beanspruchung des Kraftfahrers nicht von der absoluten Geschwindigkeit, sondern von der mit der Fahrweise verbundenen Gefahrenlage abhängt. Daß allzu temperamentvolles und

schnelles Fahren das Unfallrisiko stark erhöht, den Kreislauf des Fahrers belastet und ihn somit erschöpft, ist unbestreitbar. Jeder erfahrene Kraftfahrer wird jedoch bestätigen müssen, daß z. B. das Fahren innerhalb von Kolonnen auf der Autobahn bei Geschwindigkeiten von 80 bis 90 km/h wesentlich anstrengender ist und größere Gefahren in sich birgt, als eine Fahrgeschwindigkeit von 120 km/h mit einem geeigneten Fahrzeug bei freier Fahrbahn und optimalen Boden- und Sichtverhältnissen. Auch der immer wieder zu beobachtende „Drang“ von Fahrern, den eingeholten Vordermann zu überholen oder, wenn dies aus äußeren Gründen nicht möglich ist, einen größeren Abstand zu halten, scheint weitgehend auf biologisch-physiologische Erfordernisse zurückzugehen, da das Fahren mit eingeengter Entscheidungs- und Handlungsfreiheit besonders hohe Anforderungen stellt. Generelle Geschwindigkeitsbegrenzungen auf Autobahnen und Bundesstraßen, die sich nicht durch örtliche Verhältnisse als notwendig erweisen, würden den fließenden Verkehr weiter einengen und dazu beitragen, die Belastung und innere Spannung der motorisierten Verkehrsteilnehmer zu erhöhen. Vor der Durchführung derartiger Maßnahmen sollte man deshalb bedenken, daß eine Spannungszunahme ohne geeignete Ventile leicht zu plötzlichen und gefährlichen Entladungen führen kann. So hört man immer wieder von Kraftfahrern aus ländlichen Bezirken, daß der moderne Großstadtverkehr sie anstrengt, unsicher und reizbar macht, und daß sich selbst ältere Kraftfahrer, die auf eine große Fahrpraxis zurückblicken, bei der zunehmenden Verkehrsdichte nicht mehr den Anforderungen gewachsen fühlen.

Das Kraftfahren erfordert heute einen den jeweiligen Situationen angepaßten, häufigen Wechsel des Bewußtseinsaufwandes und selbst beim Fahren auf langweiligen, geraden und übersichtlichen Strecken muß ein Mindestmaß an Bewußtsein die Verhaltensweise des Fahrers dirigieren, den automatischen Reaktionsablauf steuern und über den Wahrnehmungs- und Denkapparat situationsgerechte Erlebniswerte vermitteln, die einen adäquaten ergotropen Funktionszustand des Vegetativums ermöglichen. Die der jeweiligen Verkehrslage angepaßte Koordination von sensorischer Aufmerksamkeit, vegetativer Spannung und psychomotorischer Bereitschaft aber dürfte bei einem routinierten und körperlich-geistig geeigneten Kraftfahrer ein Höchstmaß an Verkehrssicherheit bedingen. Ob allerdings ein derartiges harmonisches Zusammenspiel der einzelnen Funktionskreise zu jedem Zeitpunkt realisierbar ist, erscheint fraglich. Bei den engen wechselseitigen Beziehungen und Zusammenhängen zwischen Psyche und Vegetativum, wie sie HOFF in seiner „Klinischen Physiologie und Pathologie“ eindrucksvoll dargestellt hat, ergeben sich nämlich eine Reihe von Störmöglichkeiten, die an verschiedenen Stellen und Systemen angreifen können. Sieht man von krankhaften Zuständen und fahrlässig herbeigeführten Bewußt-

seinsstörungen bzw. -trübungen (z. B. Ermüdung, Einfluß von Alkohol und Rauschgiften, schuldhafter Mangel an Aufmerksamkeit u. a. m.) ab, die hier nicht Gegenstand einer Besprechung sein können, dann sind es vor allem psychologische Ursachen, die einer adäquaten Einstellung zur Verkehrssituation entgegenstehen. Ergreift und erregt uns ein Umweltreiz mit der Frische und Eindringlichkeit eines ursprünglichen Erlebnisses, dann pflegen bei Wiederholung der gleichen Reizsituation die Gegenwerte des Bewußtseins geringer auszufallen. Dieser „fallende Erlebniswert des Reizes“ führt im Straßenverkehr zu einem Spannungsabfall, der auch dem erfahrenen Kraftfahrer ein trügerisches Gefühl für eine in Wirklichkeit nicht vorhandene Sicherheit vermittelt und damit zu einer sehr wesentlichen potentiellen Verkehrsgefahr wird.

Die beschriebenen Pulsfrequenzbestimmungen bei Fahrversuchen belegen experimentell, daß das Kraftfahren mit einer von endogenen in exogenen Faktoren abhängigen Kreislaufbelastung verbunden ist. Sie sind aber auch Ausdruck des von der Umweltsituation abhängigen Spannungszustandes des Vegetativums und lassen interessante und aufschlußreiche Erkenntnisse über die wechselseitigen Beziehungen zwischen psychischen und organischen Vorgängen beim Kraftfahren zu. Die Ergebnisse zeigen, daß die vegetativen Regulationen mit den bewußten und unbewußten psychosensorischen und psychomotorischen Reaktionsabläufen unlösbar verknüpft sind. Eine ganzheitliche Betrachtung der einzelnen Funktionskreise ist deshalb für das Verständnis der biologisch-dynamischen Verhaltensweisen des Kraftfahrers unerläßlich. Es bedarf keiner Frage, daß allein der Arzt in der Lage ist, diese komplexen Vorgänge zu erfassen und zu beurteilen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse der Unfallursachenforschung, der Verkehrspolitik und der Rechtspflege nutzbar zu machen.

Literatur

- ¹ ABDERHALDEN, E.: Lehrbuch der Physiologie, S. 372. 1941. — ² AURENCHÉ, H.: Zit. nach B. RUDOLF, Med. Klin. **19**, 682 (1953). — ³ BERGER, H.: Körperliche Äußerungen psychischer Zustände. 2 Bde. Jena 1904 u. 1907. — ⁴ BICKEL, H.: Die wechselseitigen Beziehungen zwischen psychischem Geschehen und Blutkreislauf. Leipzig 1906. — ⁵ BINET et VACHIDE: Influence du travail intellectuel etc. sur la pression du sang. Année psychol. (Paris) **3**, 127 (1897). — ⁶ BLUMBERGER, K.: Erg. inn. Med. Kinderheilk. **62**, 424 (1942). — ⁷ BOHNENKAMP, H.: In L. HEILMEYER, Pathologische Physiologie, S. 123. 1944. — ⁸ BORNEMANN, E.: Arbeitsphysiologie **12**, 142, 173 (1942). — ⁹ CHRISTENSEN, E. H.: Arbeitsphysiologie **4**, 453 (1931). — ¹⁰ CHRISTENSEN, E. H.: Arbeitsphysiologie **4**, 470 (1931). — ¹¹ CHRISTENSEN, E. H.: Arbeitsphysiologie **14**, 255 (1950). — ¹² CHRISTIAN, P.: Arch. Kreisf.-Forsch. **21**, 174 (1954). — ¹³ COHEN, M. E., and P. D. WHITE: Psychosom. Med. **8**, 335 (1951). — ¹⁴ COLLET, M. E., u. G. LILJESTRAND: Skand. Arch. Physiol. **45**, 29 (1924). — ¹⁵ DELIUS, L., u. H. REINDELL: Z. klin. Med. **143**, 29 (1944). — ¹⁶ DOUPE, J., H. W. NEWMAN and R. W. WILLKINS: J. Physiol. (Lond.) **95**, 239 (1939). — ¹⁷ DUNBAR, F. P.: Zit. nach H. REINDELL, E. SCHILDGE, H. KLEPZIG u. H. W. KIRCHHOFF, Kreislaufregulation. Stuttgart 1955. — ¹⁸ EHRSTRÖM, M. CH.:

Acta med. scand. **122**, 546 (1945). — ¹⁹ EIFF, A. W. v.: Grundumsatz und Psyche. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1957. — ²⁰ EIFF, A. W. v., u. H. GÖPFERT: Z. ges. exp. Med. **120**, 72 (1952). — ²¹ FLEISCH, A.: ABDERHALDENS Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Bd. 5/8, S. 904. 1934. — ²² FLETSCHER, J. G.: The calorie cost of driving. Abstract of communication. Ergonomics Research Society, April 1956. — ²³ FRASER, J., and E. M. COWELL: A clinical study of the blood pressure in wound conditions. In: Reports of the Special Investigation Committee on Surgical Shock and Allied Conditions, p. 49. Spec. Rep. Ser. med. Res. Coun., p. 25, London 1919. — ²⁴ GROENEWEGEN, H. Y.: Z. Verkehrssicherheit **1/2**, 38 (1954). — ²⁵ GRÜNTAL, E.: Kraepelins psychol. Arb. **7**, 483 (1922). — ²⁶ HESS, W. R.: Das Zwischenhirn. Basel 1949. — ²⁷ HICKAM, J. B., W. H. CARGILL and A. GOLDEN: J. clin. Invest. **27**, 290 (1948). — ²⁸ HOCHREIN, M.: Int. J. prophyl. Med. u. Sozialhyg. **1**, 1 (1958). — ²⁹ HOFF, F.: Klinische Physiologie und Pathologie. Stuttgart 1957. — ³⁰ KIESOW, F.: Wundts psychol. Studien **11**, 41 (1895). — ³¹ KNAUER: Z. ges. Neurol. Psychiat. **30**, 319 (1915). — ³² KRAEPELIN, E.: Kraepelins psychol. Arb. **7**, 535 (1922). — ³³ KRETSCHMER, E.: Medizinische Psychologie. Leipzig 1926. — ³⁴ KÜPPERS, E.: In Handbuch der Geisteskrankheiten von BUMKE. Bd. 3, Teil III: Körperliche Störungen. — ³⁵ LANG-BJELONOGWOA: Zit. nach H. LACHMANN, Z. ärztl. Fortbild. **47**, 370 (1953). — ³⁶ LEHMANN, A.: Die körperlichen Äußerungen psychischer Zustände. 3 Bde. Leipzig 1899, 1901, 1905. — ³⁷ LEHMANN, G.: Praktische Arbeitsphysiologie. Stuttgart 1955. — ³⁸ LEHMANN, G., u. H. F. MICHAELIS: Arbeitsphysiologie **12**, 264 (1942). — ³⁹ LEHMANN, G., u. H. J. KINZIUS: Pflügers Arch. ges. Physiol. **253**, 132 (1951). — ⁴⁰ LOMBARD, and PILLSBURY: Amer. J. Physiol. **3** (1900). — ⁴¹ LUNDGREEN, N. P. V.: Acta physiol. scand. **13**, Suppl., 41 (1946). — ⁴² LUFF, K., u. G. BOHNÉ: Ärztl. Wschr. **42**, 1004 (1954). — ⁴³ LUFF, K.: Öff. Gesundh.-Dienst **8**, 287 (1955). — ⁴⁴ LUFF, K.: Habil.-Schr. Frankfurt a. M. 1956 (nicht veröffentlicht). — ⁴⁵ LUFF, K.: Öff. Gesundh.-Dienst **4**, 154 (1957). — ⁴⁶ MARTIUS, G.: Martius' Beiträge zur Psychol. und Phil., Bd. 1, S. 411. Leipzig 1905. — ⁴⁷ MATTHES, K.: Kreislaufuntersuchungen am Menschen mit fortlaufend registrierenden Methoden. Stuttgart 1951. — ⁴⁸ MÜLLER, E. A.: Arbeitsphysiologie **12**, 92 (1943). — ⁴⁹ MÜLLER, E. A.: Arbeitsphysiologie **14**, 271 (1950). — ⁵⁰ MÜLLER, E. A.: Arbeitsphysiologie **14**, 37 (1950). — ⁵¹ OKAMURA, N.: Okayama Igakkai Zasshi **50**, 2325 (1938). — ⁵² PAULI, R.: Arch. f. Psychol. **100**, 401 (1938). — ⁵³ PIERACH, A.: Nauheimer Fortbild.-Lehrg. **17**, 82 (1951). — ⁵⁴ PRÜLL, G.: Diss. Frankfurt a. M. 1955. — ⁵⁵ REIN, H.: Physiologie des Menschen, 10. Aufl., S. 451. — ⁵⁶ REINDELL, H., E. SCHILDGE, H. KLEPZIG u. H. W. KIRCHHOFF: Kreislaufregulation. Stuttgart 1955. — ⁵⁷ SCHEUBLE, E., u. E. A. MÜLLER: Arbeitsphysiologie **14**, 469 (1952). — ⁵⁸ SELYE, H.: The physiology and pathology of exposure to stress. Montreal 1950. — ⁵⁹ SHEPARD, J. F.: Amer. J. Psychol. **17**, 522 (1906). — ⁶⁰ STEVENSON, I., and H. C. DUNCAN: Proc. Ass. Res. nerv. ment. Dis. **29**, 799 (1950). — ⁶¹ STOCKVIS, B.: Schweiz. med. Wschr. **68**, 764 (1938). — ⁶² STROMBERG, Sr.: Sport-Magazin **19**, 2 (1954). — ⁶³ STURM, R. Z., and E. H. WOOD: Rev. sci. Instr. **18**, 771 (1947). — ⁶⁴ THAUER, R.: Nauheimer Fortbild.-Lehrg. **17**, 11 (1952). — ⁶⁵ UHLENBRUCH, P.: Z. Biol. **80**, 325 (1925). — ⁶⁶ WEBER, E.: Der Einfluß psychischer Vorgänge auf den Körper. Berlin 1910. — ⁶⁷ WEINBERG, A.: Z. ges. Neurol. Psychiat. **85**, 543 (1923). — ⁶⁸ WEZLER, K., u. A. BÖGER: Ergebn. Physiol. **41**, 292 (1939). — ⁶⁹ WITZLEBEN, H. D. v.: Herz- und Kreislauf-erkrankungen in ihren Beziehungen zum Nervensystem und zur Psyche. Leipzig 1939. — ⁷⁰ WOLF, Sr., and E. M. SHEPARD: Proc. Ass. Res. nerv. ment. Dis. **29**, 976 (1950). — ⁷¹ WOLFF, H. G.: Circulation **1**, 187 (1950). — ⁷² WYSS, D.: Psyche (Stuttgart) **5**, 81 (1951).

Priv.-Doz. Dr. med. KARL LUFF, Frankfurt a. M., Forsthausstr. 104