

Ein Verfahren zur telemetrischen Messung der Bewegungsaktivität für die Verhaltensanalyse Technische Beschreibung und erste empirische Ergebnisse bei verhaltenschwierigen Kindern *

E. GRÜNEWALD-ZUBERBIER, A. RASCHE, G. GRÜNEWALD und H. KAPP

Neurologische Universitätsklinik mit Abteilung für Neurophysiologie
der Universität Freiburg i. Br.,
Neuropsychologisches Laboratorium Müllheim

Eingegangen am 15. Februar 1971

A Telemetric Method of Measuring Motor Activity in Behavioral Research Technical Description and First Results

Summary. 1. A new technique is described which permits continuous measurements of motor activity by telemetry without restricting the subject's movements. The method is used to assess a variety of motor activities in different situations. The apparatus consists of a) a pick-up which is sensitive to acceleration in any direction. It is combined with a short-range transmitter which is fastened to a limb or to the trunk of the S.; b) a receiver and c) a recording device for the received signal. The acceleration forces accompanying movements of the body modulate the transmitter frequency and are accessible as proportional voltage changes in the receiver. The signal can be fed into two independently calibrated trigger units, so that the amplitudes exceeding the present levels can be counted and displayed digitally.

2. In a preliminary empirical study the usefulness of the method was tested for the assessment of individual differences in behavioral studies.

a) In well-defined situations of continuous motor tasks, the activity rates (number of accelerations per time unit) show high intraindividual constancy and wide interindividual variation. This indicates a sufficient differential reliability of the procedure.

b) In less defined "free" behavioral situations, the method differentiated less between individuals because of the large situational variance of motor activity.

c) The average rate of activity proves to be a function of the interaction between individual and task specific factors under the described conditions.

d) The measured rates of activity were found to be correlated significantly with the rated (rank-scaled) amount of "motor activity" (hyperkinetic versus hypokinetic).

* Die Arbeit wurde durch den Sonderforschungsbereich „Hirnforschung und Sinnesphysiologie“ (SFB 70) gefördert.

3. Finally, methodological aspects und possible applications of the new technique are discussed.

Key-Words: Measurement of Motor Activity — Telemetry — Hyperactive Children.

Zusammenfassung. 1. Es wird ein neues Verfahren zur *telemetrischen kontinuierlichen Messung der mechanischen Bewegungsaktivität* beschrieben, das den Probanden in seinem motorischen Verhalten nicht beeinträchtigt und an keine bestimmten Tätigkeiten oder Untersuchungssituationen gebunden ist. Die Meßeinrichtung besteht a) aus einem richtungsunabhängigen *Beschleunigungsaufnehmer mit Telemetriesender*, einer kleinen Einheit, die an Rumpf, Arm oder Bein getragen wird, b) aus einem *Empfänger* und c) aus einem *Registriergerät* für die Empfänger-ausgangssignale. Die bei Bewegungen des Körpers auftretenden Beschleunigungs-kräfte bewirken über Kapazitätsänderungen des Aufnehmers Modulationen der Senderfrequenz und werden am Empfängerausgang durch proportionale Span-nungsänderungen repräsentiert. Diese können beim Überschreiten einstellbarer Triggerpegel gezählt oder analog registriert werden.

2. Eine erste empirische Prüfung des Meßverfahrens auf seine Brauchbarkeit für die differentielle Verhaltensforschung — durchgeführt an einer Gruppe von 15 verhaltensschwierigen, z. T. hyperaktiven Kindern — erbrachte positive Re-sultate:

a) Unter bestimmten kontinuierlichen Tätigkeitsbedingungen zeigen die *Aktivitätsraten* (= Anzahl der Beschleunigungen/Zeiteinheit) eine hohe *intraindividuelle Konstanz bei breiter interindividueller Streuung*. Die differentielle Zuverlässigkeit der Meßwerte ist entsprechend gut.

b) „Freie“ Verhaltenssituationen sind auf Grund großer situativer Varianz der Bewegungsaktivität schlechter zur interindividuellen Differenzierung geeignet.

c) Unter den untersuchten kontinuierlichen Tätigkeitsbedingungen erweist sich die durchschnittliche Aktivitätsrate als eine Funktion der Wechselwirkung von individuellen und tätigkeitsspezifischen Faktoren.

d) Es bestehen signifikante Beziehungen zwischen den gemessenen Aktivitäts-raten und den Rang- bzw. Intervallskalenwerten eines Ratings der „Bewegungs-aktivität“ (hyperaktiv — hypoaktiv, bewegungsunruhig — bewegungsrühig, usw.).

3. Abschließend werden die methodischen Aspekte der Anwendung des Meß-verfahrens und einige empirische Anwendungsmöglichkeiten diskutiert. Art und Grad der Standardisierung der Untersuchungssituation richtet sich nach den Be-wegungshämmern, die man vorzugsweise erfassen will.

Schlüsselwörter: Bewegungsmessung — Telemetrie — Motorik — Hyperaktive Kinder.

Einleitung

Im Zusammenhang von psychophysiologischen Untersuchungen über verhaltensschwierige, unruhige Kinder („Hyperkinetisches Syndrom“; s. Grünwald-Zuberbier, 1967; Frederiks, 1969; Stewart, 1970) suchten wir nach einem praktikablen Verfahren, das die kontinuierliche Messung der mechanischen „Bewegungsaktivität“ eines Probanden erlaubt, ohne dessen Verhalten zu beeinträchtigen und an bestimmte Tätigkeiten oder Untersuchungssituationen gebunden zu sein. Obgleich sich dieses me-thodische Problem auch in zahlreichen anderen Zusammenhängen stellt

(z. B. Messung des Einflusses von Psychopharmaka auf die Bewegungsunruhe psychiatrischer Patienten) konnten wir der Literatur kein geeignetes Verfahren entnehmen.

Alle berichteten Methoden binden die Vpn. an bestimmte Untersuchungssituationen (und beeinträchtigen damit z. T. erheblich das natürliche Verhalten) und/oder sprechen nur bei bestimmten Bewegungsweisen oder Bewegungsrichtungen an. Typische Beispiele sind: photographische Methoden (Barnes, 1958), die elektronische Bewegungsmessung nach Nadler u. Goldman (1956), Messungen der Grobmotorik während des Schlafes (Gerber-Nägele, 1954), der Lokomotion (Herron u. Ramsden, 1967), der Kontrollbewegungen bei komplexen Steuerungs- und Trakingaufgaben (Davis, 1948), Applikation von Dehnungsmeßstreifen.

Im folgenden wird eine Meßeinrichtung beschrieben, die den geforderten Bedingungen genügt und die von D. Burchard¹ für unsere Zwecke entwickelt und gebaut wurde. Nach der Darstellung der Methode folgen erste empirische Untersuchungsergebnisse, die Anwendung und Brauchbarkeit der Einrichtung demonstrieren.

Methode der „Aktivitätsmessung“ (nach Burchard)

Als Grundmaß oder „funktionelle Einheit“ der Bewegungsaktivität einer Versuchsperson wird die am Meßpunkt eines am Körper befestigten Beschleunigungsaufnehmers auftretende Beschleunigung verwendet. Anzahl und Größe der Beschleunigungen in allen Raumrichtungen werden in freien oder gebundenen Verhaltenssituationen telemetrisch registriert und geben einen Ausdruck der „Aktivitätsmenge“ des Probanden.

1. Beschleunigungsaufnehmer. Die Beschleunigung ist eine gerichtete Größe, von der hier jedoch nur der Betrag interessiert. Die Unabhängigkeit der Signale des Beschleunigungsaufnehmers von der Richtung der Beschleunigung wurde durch die in Abb. 1 skizzierte Konstruktion erreicht. Eine innere Vollkugel und eine äußere Hohlkugel bilden einen konzentrischen Kondensator. Die innere Kugel wird durch progressiv wirkende (Schaumstoff-) Federn geeigneter innerer Dämpfung gehalten. Ihre Lage in der Hohlkugel ist durch das Gleichgewicht der Beschleunigungskräfte mit den Feder-Gegenkräften gegeben. Für jede Verschiebung aus dem Zentrum nimmt die Kapazität der Anordnung zu (= Signal des Beschleunigungsaufnehmers). Der Zusammenhang zwischen Verschiebung und Kapazitätsvergrößerung ist nicht-linear.

Man muß sich nun vergegenwärtigen, daß auf die Vp., die den Beschleunigungsaufnehmer z. B. am Arm trägt, genau wie auf die innere Kugel dauernd die Erdbeschleunigung = 1 g einwirkt. Betrachten wir den Fall, daß die bei Bewegungen des Armes auftretenden Beschleunigungen kleiner/gleich 1 g sind. Eine Bewegung in Richtung der Erdbeschleunigung kommt dann durch eine Verringerung der Muskelkräfte zustande, das Ende der Bewegung erfolgt durch eine Vergrößerung der Muskelkräfte, also durch eine „Aktivität“. Die innere Kugel wird zuerst eine kleinere Auslenkung, gegen Ende der Bewegung eine größere Auslenkung als in der Ruhestellung erfahren. Das Aktivitätssignal, das in einer Kapazitätserhöhung be-

¹ Ingenieurbüro Dipl.-Ing. D. Burchard, 7802 Merzhausen, Heimatstr. 18/19.

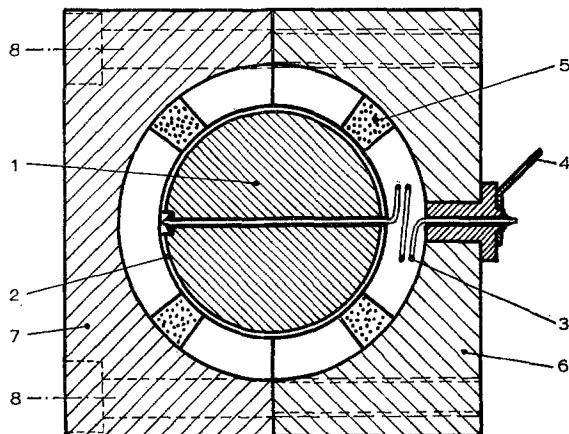


Abb. 1. Konstruktionsschema des Beschleunigungsaufnehmers nach Burchard. 1 Innere Vollkugel; 2 PVC-Isolierung; 3 rückkraftfreier elektrischer Anschluß; 4 Lötöse; 5 federnde Aufhängung in Schaumstoffpolstern; 6, 7 äußere Halbkugeln; 8 Verschraubung

steht, tritt am Ende der Bewegung auf. Eine Bewegung gegen die Erdbeschleunigung liefert entsprechend zu Beginn eine „Aktivität“. Andere Bewegungen, die mit der Richtung der Erdbeschleunigung spitze oder stumpfe Winkel bilden, liefern entsprechend der Vektorsumme der Beschleunigungen am Ende oder Anfang der Bewegung das Aktivitätssignal.

2. Telemetriesender. Die Vp. soll durch die Meßeinrichtung möglichst wenig beeinträchtigt werden. Eine drahtlose Übertragung des Meßwertes ist daher angezeigt. Da die Kapazitätsänderungen des Aufnehmers außerordentlich klein sind, muß die Weiterverarbeitung mittels Trägerfrequenz erfolgen. Es liegt auf der Hand, diese Trägerfrequenz gleich zur drahtlosen Übertragung auszunutzen. Der kapazitive Aufnehmer wird also mit einer Spule zu einem Schwingkreis ergänzt und mittels einer Transistorschaltung zu Schwingungen angeregt, wobei eine Kapazitätserhöhung bei Aktivität der Vp. eine Frequenzerniedrigung des Oscillators bewirkt. Der gesamte Telemetriesender enthält also a) den Beschleunigungsaufnehmer, b) die Transistorschaltung, bestehend aus Oscillator und 2 Verstärkerstufen, die die Entkopplung von Oscillator und Antenne sowie die nötige Verstärkung bewirken, und c) die Stromversorgung aus 2 Quecksilberzellen, die für 60 Betriebsstunden ausreichen. Der Sender ist nur 8 cm lang und 80 g schwer, so daß er mit Hilfe eines Gummibandes mit Klettverschluß leicht am Arm oder Bein befestigt werden kann. Die Senderreichweite beträgt ca. 20 m (zum Zusammenhang zwischen Strahlungsleistung und Reichweite eines Senders, s. Burchard, 1966).

In vielen Instituten sind Mikro-Telemetriesender in Betrieb. Die Reichweite dieser im UKW-FM-Band arbeitenden Sender ist so gering, daß außerhalb des Institutsgeländes keine Störung von Rundfunkempfängern zu erwarten ist. Umgekehrt jedoch ist eine Störung der Telemetieverbindung durch Rundfunksender leicht möglich, daher muß eine Frequenz ausgesucht werden, auf der kein Rundfunksender arbeitet. Erfahrungsgemäß ist der Bereich 100—104 MHZ noch frei von Rundfunksendern. Diese Überlegungen führten dazu, daß die Sendefrequenz der Meßeinrichtung auf ca. 103 MHZ eingestellt wurde.

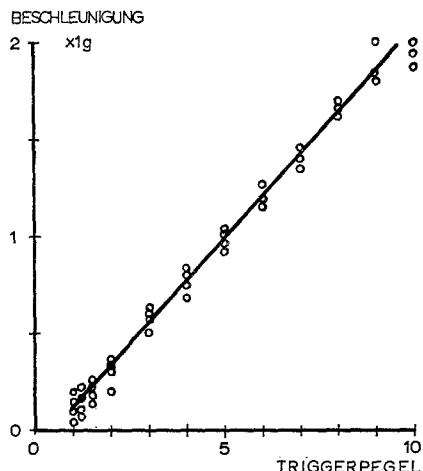


Abb. 2. *Eichkurve der Meßeinrichtung.* Der Beschleunigungsaufnehmer wurde zusammen mit einem geeichten richtungsabhängigen Beschleunigungsaufnehmer der Fa. Hellige von Hand in senkrechter Richtung sinusförmig so stark beschleunigt, bis der entsprechende Triggerpegel am Empfängerausgang gerade ansprach. Dargestellt sind die Meßwerte von mehreren Prüfern

3. *Empfänger.* Als Empfangsantenne wird ein Draht abgestimmter Länge so ausgelegt, daß er in allen Raumrichtungen gekrümmt ist, oder es wird eine von Burchard entwickelte Spezialantenne verwendet, die aus allen 3 Raumrichtungen gleichmäßig empfängt. Grundsätzlich ist der Empfang mit einem üblichen Rundfunkempfänger möglich. Sollen jedoch reproduzierbare Meßergebnisse gewonnen werden, so muß der Empfänger bestimmten Anforderungen genügen: der Übertragungsfaktor muß unabhängig von der Empfangsspannung sein, die Frequenzdrift des Senders muß durch eine Automatik ausgeregelt werden, Frequenzerniedrigungen des Senders, die ja einer „Bewegungsaktivität“ entsprechen, müssen möglichst unverfälscht am Ausgang erscheinen, während alle Frequenzerhöhungen keine Ausgangsspannung erzeugen dürfen. Diese Forderungen wurden bei dem vorliegenden Spezialempfänger durch eine sorgfältig dimensionierte AFC (automatic frequency control) erfüllt. Darauf hinaus enthält der Empfänger eine Rauschsperrre mit Lampenanzeige, die Fehlmessungen bei zu niedriger Empfangsspannung verhindert.

Das Empfängerausgangssignal entspricht der Kapazitätserhöhung des Beschleunigungsaufnehmers. Die nichtlineare Kapazitätsänderung und die progressive Federung wirken einander entgegen, so daß von einer geringen Nullpunktverschiebung abgesehen eine ziemlich beschleunigungsproportionale Ausgangsspannung entsteht. Die Eichkurve der Abb. 2 wurde bei sinusförmiger Beschleunigungsänderung in senkrechter Richtung gewonnen. Die Beschleunigung wurde dabei so lange erhöht, bis ein an den Empfängerausgang angeschlossener Trigger mit einstellbarem Pegel gerade anspricht.

4. *Registrierung der Empfängerausgangssignale.* Die Registrierung der Bewegungsaktivitäten bzw. der Empfängerausgangssignale kann sowohl in Form von Einheitsimpulsen als auch analog erfolgen. Die im folgenden mitgeteilten Unter-

suchungsergebnisse basieren auf der erstenen Methode. Zwei an den Empfänger-ausgang angeschlossene Trigger können anhand von Pegelskalen (vgl. Abb. 2) so eingestellt werden, daß Beschleunigungen ab einer bestimmten Größe erfaßt werden. „Aktivitäten“, die diese Schwelle überschreiten, werden in einem Zeitintervall, das von einer netzsynchronen Uhr zu 1,25 . . . 10 min vorgegeben wird, als Impulse ad-diert und an den Aktivitätszählern angezeigt. Parallel dazu liefert ein Drucker ein Protokoll der sequentiellen und kumulativen Häufigkeiten der Aktivitäten. Währ-end diese Registrermethode die durch die Meßeinrichtung gelieferten Informa-tionen auf die Anzahl überschwelliger Beschleunigungen reduziert, kann man durch Integration der Analog-Ausgangsspannung des Telemetrieempfängers auch den Beschleunigungsbetrag berücksichtigen und so zu einer noch differenzierteren Er-fassung der Bewegungsaktivität kommen. Die Gesamtapparatur ist übrigens so ausgeführt, daß sie um einen zweiten Meßkanal erweitert werden kann.

Empirische Befunde

Untersuchungen an verhaltenschwierigen Kindern

Um erste Informationen über die Eignung des beschriebenen Ver-fahrens in unseren Untersuchungszusammenhängen zu erhalten, wurden an einer Stichprobe von 15 Kindern (♂; Alter: 8—14 Jahre) aus einer bisher von uns psychophysiologisch untersuchten Gesamtgruppe von 39 Heimkindern die folgenden Fragen überprüft:

1. Differenziert die Meßeinrichtung in geeigneten Untersuchungs-situacionen hinreichend zuverlässig zwischen unseren Probanden?
2. Sind die Messungen repräsentativ für das üblicherweise aufgrund von Verhaltensbeobachtungen ermittelte Merkmal „Bewegungsaktivität“ (hyperaktiv — hypoaktiv; bewegungsunruhig — bewegungsruhig; „overactivity — inertia“ usw.)?

Bei der Beantwortung dieser Fragen ging es uns nicht um eine ab-schließende testpsychologische Klärung, die auch noch zu untersuchende verhaltensauffällige Kinder des Altersbereichs zu berücksichtigen und auf einer größeren sowie repräsentativeren Stichprobe aufzubauen hätte, sondern um eine schnelle Entscheidung, ob das Verfahren überhaupt differentiell-psychologisch in unserem Untersuchungszusammenhang verwendbar ist.

Die Auswahl der Stichprobe erfolgte auf der Basis eines Ratings der „Be-wegungsaktivität“ durch drei unabhängige, mit den Kindern in den verschiedensten Verhaltenssituationen über längere Zeit vertrauten Psychologen. Die drei Be-urteiler zeigten eine befriedigende Übereinstimmung von W (Kendallscher Kon-kordanzkoeffizient) = 0,634 ($p < 0,01$), was einer durchschnittlichen Rangkorre-lation zwischen den einzelnen Beurteilern von 0,451 entspricht. Als beste Schät-zung des „wahren“ Ranges der 39 Kinder auf dem Kontinuum der „Bewegungs-aktivität“ diente die Rangskala der individuellen Rangsummen (vgl. Siegel, 1956, S. 238). Aus dem unteren und oberen Drittel dieser Skala wurden 7 bzw. 8 Pro-banden zur Messung ihrer Bewegungsaktivität herausgegriffen.

Bezüglich der Messungen gingen wir von den folgenden Überlegungen aus. Die mit dem beschriebenen Verfahren in freien Verhaltenssituationen ermittelte „Ak-tivitätsmenge“ einer Vp. stellt ein vielfältig determiniertes Verhaltenskriterium

dar. Willkürliche und unwillkürliche Bewegungen werden erfaßt. Neben einer individuellen Komponente spielen verschiedene konditionelle Faktoren (z. B. Motivation, Emotion, körperliches Befinden, Tageszeit), insbesondere auch Abhängigkeiten der Bewegungsaktivität vom jeweiligen Tätigkeitsmuster eine Rolle. Zur Erfassung interindividueller Aktivitätsunterschiede mußte dieser konditionell und situativ bedingte Varianzanteil der Meßwerte durch geeignete Untersuchungsbedingungen reduziert werden. Die Kinder durften in der freien Entfaltung ihrer Bewegungsaktivität nicht wesentlich eingeengt werden, sollten andererseits aber während der Meßperiode kontinuierlich im Rahmen bestimmter gewohnter Verhaltensweisen mit möglichst gleichmäßiger Motivation tätig sein. Folgende Versuchssituationen schienen uns diese Bedingungen zu erfüllen: a) Kontinuierliches Malen mit bunten Kreiden an der Schmierwand (15 min), wobei die zu malenden Inhalte (Auto auf Straße, Haus mit Garten, Schiff auf Wasser usw.) vom Versuchsleiter sukzessiv in Anpassung an die individuelle Ausführung angegeben wurden; b) Betätigung an einem einfachen Tischkegelspiel (5 min) unter leistungsmotivierenden Bedingungen. Der Vl. gab während beider Versuchphasen in unregelmäßigen Intervallen Bekräftigungen durch Lob und Ermunterung. Seit Skinners Untersuchungen (s. z. B. 1959/61) ist die Bedeutung variabler Folgen von „Reinforcements“ für die Erreichung und Aufrechterhaltung eines bestimmten „Aktivitätsgrades“ bekannt. In einer dritten Untersuchungssituation wurden keine bestimmten Verhaltensweisen gefordert. Das Kind beschäftigte sich allein 20 min lang in einem Spielzimmer mit standardisiertem interessantem Spielangebot. Durch ein einseitig durchsichtiges Beobachtungsfenster konnte der Vl. den zeitlichen Verlauf des Spielverhaltens, insbesondere den Wechsel der Tätigkeiten registrieren.

In allen Untersuchungssituationen war der Sender am Oberarm der dominanten Seite befestigt. Er wurde mit dem zusammengelegten kurzen Antennendraht unter dem Ärmel getragen und war so angebracht, daß er weder mit dem Rumpf noch mit Gegenständen der Umgebung in Berührung kommen konnte. Der Vp. wurde erklärt, es handele sich um ein Gerät zur Pulsmessung. Die Erfahrung zeigte, daß der Sender in keiner Weise als störend erlebt wurde oder erkennbar ablenkend wirkte. Empfänger und Drucker standen mit einer Distanz von ca. 7 m in einem benachbarten Raum des Untersuchungszimmers. Die beiden Triggerpegel waren aufgrund von Voruntersuchungen relativ empfindlich auf $1,0 \sim 0,15$ g (Pegel I) und $1,6 \sim 0,25$ g (Pegel II) eingestellt. Das Zählintervall betrug 1,25 min. Ausgedruckt wurden sowohl die sequentiellen als auch die kumulativen Aktivitätshäufigkeiten für beide Pegel.

1. Zur Differenzierungsfähigkeit des Meßverfahrens

In Tab. 1 sind zunächst für verschiedene Kriterien der Bewegungsmessung die statistischen Charakteristiken unserer Stichprobe aufgeführt. Die Merkmale „Bewegungsaktivitäten/min“ werden im folgenden definiert. Generell sind große individuelle Streuungen festzustellen, relativ besonders ausgeprägt bei den heftigeren Bewegungen (Pegel II). Anders steht es mit der intraindividuellen Variabilität. Wir beziehen uns zunächst auf Beschleunigungen größer/gleich 0,15 g (Pegel I). Abb. 3 zeigt die individuellen kumulativen Aktivitäten beim Malen an der Schmierwand. Trotz der komplexen Tätigkeit liegen eine bemerkenswerte Linearität der Verläufe, d. h. aber relativ konstante individuelle Aktivitätsraten pro Zählintervall vor. Die Steigungskoeffizienten (Ak-

Tabelle 1. *Kriterien der Bewegungsmessung. Gruppenstatistik*

Mittelwerte (\bar{x}), Standardabweichungen (s) und Variationskoeffizienten ($V\%$) einer Stichprobe von 15 verhaltensschwierigen Kindern. Einstellung der Triggerpegel: I = Beschleunigungen $\geq 0,15$ der Erdbeschleunigung; II = Beschleunigungen $\geq 0,25$ der Erdbeschleunigung. Bewegungsaktivitäten/min = Steigungskoeffizienten der berechneten linearen Regressionen der kumulativen Häufigkeitskurven (vgl. Abb. 3)

Kriterien der Bewegungsmessung	Pegel I (0,15 g)			Pegel II (0,25 g)		
	$N = 15$			$N = 15$		
	\bar{x}	s	$V\%$	\bar{x}	s	$V\%$
1. Summe der Bewegungsaktivitäten in allen Situationen (40 min)	2905,6	1066,1	36,6	753,4	496,0	65,8
2. Summe der Bewegungsaktivitäten beim Wandmalen (15 min)	1363,5	709,3	52,0	357,1	343,2	96,1
3. Summe der Bewegungsaktivitäten beim Kegelspiel (5 min)	432,9	148,3	34,2	135,1	74,1	54,8
4. Summe der Bewegungsaktivitäten beim freien Spiel (20 min)	1102,6	494,0	44,8	261,2	163,1	62,4
5. Bewegungsaktivitäten/min Wandmalen	90,3	46,8	51,8	23,6	22,9	97,0
6. Bewegungsaktivitäten/min Kegelspiel	86,6	29,9	34,6	26,9	14,9	55,4

tivitäten/min) der linearen Regressionsgleichungen streuen breit und dokumentieren erhebliche interindividuelle Aktivitätsunterschiede. Vergleichbar liegen die Verhältnisse bei der Tätigkeit am Kegelspiel. Allerdings wurden hier nur 5 min registriert. Offensichtlich ist es durch die beiden Untersuchungsbedingungen gelungen, mit hinreichender „Präzision“ (s. Lienert u. Orlik, 1965) zwischen den Bewegungsaktivitäten der Probanden zu differenzieren. Das bestätigen auch die varianzanalytisch ermittelten Zuverlässigkeit- bzw. Stabilitätskoeffizienten; s. Tab. 2 (vgl. Winer, 1962, S. 124–132). Zum Erreichen der hohen Stabilität von 0,95 genügt beim Kegelspiel der individuelle Durchschnitt aus 6 Zählintervallen (= $7^{1/2}$ min Meßzeit, beim Wandmalen der Durchschnitt aus 9 Zählintervallen [= $11^{1/4}$ min Maßzeit]). Die Koeffizienten sind allerdings als Schätzwerte für die Kinderpopulation, an der wir Bewegungsmessungen durchführen wollen, nur bedingt geeignet, da die Variabilität unserer Stichprobe aufgrund der Extremgruppenzusammensetzung nicht repräsentativ ist.

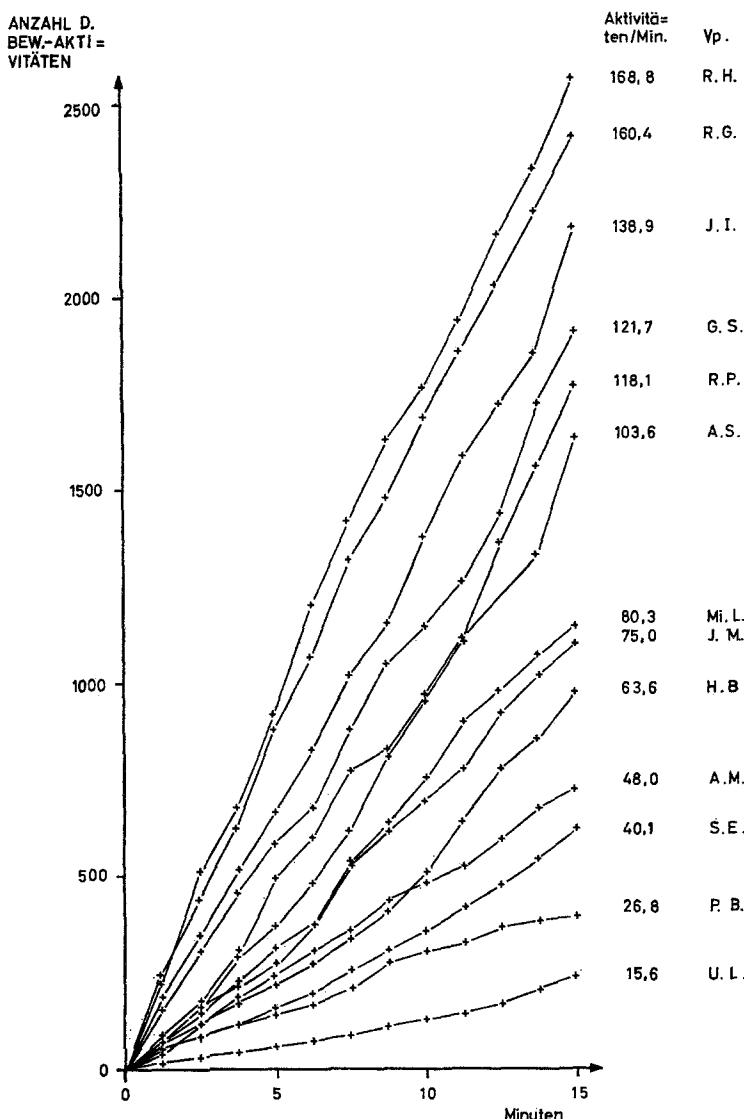


Abb. 3. Individuelle kumulative Bewegungsaktivitätsraten beim standardisierten Malen an der Schmierwand (Befestigung des Beschleunigungsaufnehmers am Oberarm der dominanten Seite). Die den einzelnen Kurven zugeordneten Aktivitäten/min bezeichnen die Steigungskoeffizienten der berechneten linearen Regressionen

Zwischen den Aktivitäten/min unter beiden Versuchsbedingungen ist kein statistischer Gruppenunterschied nachweisbar. Es liegt jedoch eine sehr signifikante Wechselwirkung zwischen Vp. und Tätigkeit vor.

Tabelle 2. Differentielle Zuverlässigkeit der Bewegungsmessung in verschiedenen standardisierten Untersuchungssituationen; Zuverlässigkeits- bzw. Stabilitätskoeffizienten (r_k) der Pegel I-Werte

r_1 = Zuverlässigkeit der Aktivitätsmenge eines einzigen Meßintervalls von 1,25 min-Dauer

r_k = Zuverlässigkeit des Durchschnitts von k Meßintervallen

Meßzeit (min)	k	r_k		
		Kegelspiel	Wandmalen	Freies Spiel
1,25	1	0,760	0,680	0,319
3,75	3	0,905	0,864	0,584
7,50	6	0,950	0,927	0,738
11,25	9	0,966	0,950	0,808

Vpn. mit hohen Aktivitätsraten beim Wandmalen weisen geringere Aktivitäten/min beim Kegelspiel auf und umgekehrt ($p < 0,01$). Diese Interaktion wird in der Abb. 4 an 8 Einzelbeispielen demonstriert. Unter den Versuchsbedingungen ist die Aktivitätsrate offensichtlich eine Funktion der Wechselwirkungen von individuellen und situativen (tätigkeitsabhängigen) Komponenten. (Da das Kegelspiel stets nach dem Wandmalen durchgeführt wurde, kann allerdings der Einfluß eines Verlauffeffektes nicht ausgeschlossen werden.)

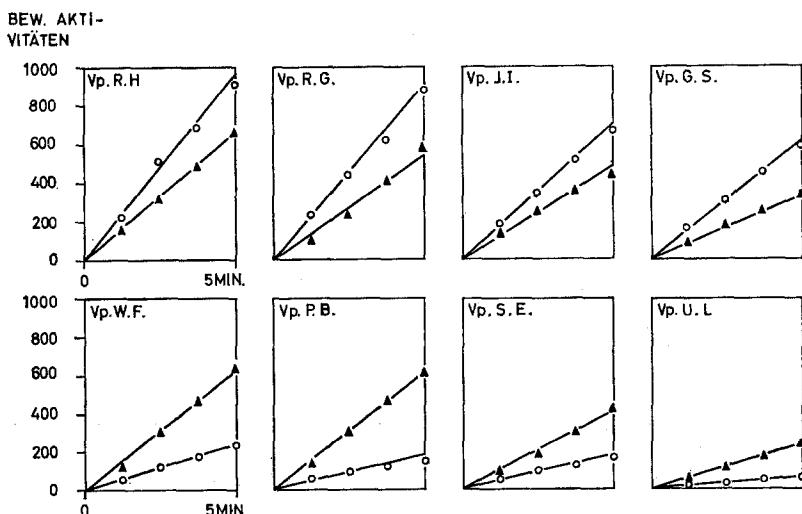


Abb. 4. Individuelle kumulative Bewegungsaktivitätsraten beim standardisierten Malen an der Schmierwand (—○—) und beim Tischkegelspiel (—▲—). (Befestigung des Beschleunigungsaufnehmers am Oberarm der dominanten Seite.) Vpn. mit hohen Aktivitätsraten/min beim Wandmalen weisen geringere Aktivitäten/min beim Kegelspiel auf (obere Diagramme) und umgekehrt (untere Diagramme)

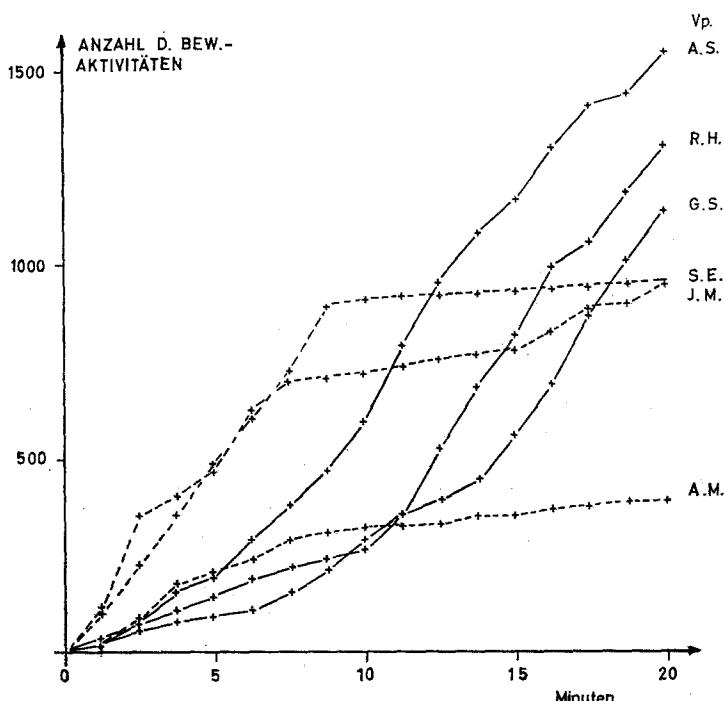


Abb. 5. Individuelle kumulative Bewegungsaktivitätsraten beim freien Spiel (Befestigung des Beschleunigungsaufnehmers am Oberarm der dominanten Seite). Im Gegensatz zu den mehr oder weniger linearen Verläufen der Abb. 3 und 4 sind hier ausgeprägt unregelmäßige Kurven festzustellen, die auf Wechsel der Spielaktivität zurückzuführen sind

Im Gegensatz zu den besprochenen Untersuchungssituationen zeigen beim freien Spiel zahlreiche kumulative Registrierungen nichtlineare Verläufe. In Abb. 5 sind einige typische Beispiele zusammengestellt. Verhaltensbeobachtungen erklären die Änderungen der Aktivitätsrate in den meisten Fällen durch Wechsel der Spielaktivität. Entsprechend dem starken Einfluß situativer Faktoren ist auch die differentielle Zuverlässigkeit dieser Untersuchungsbedingung relativ gering. Bei einem Durchschnittswert aus 16 Zählintervallen (= 20 min Meßzeit) liegt der Stabilitätskoeffizient noch unter 0,90.

Die getrennte Auswertung von Beschleunigungen größer/gleich 0,25 g (Pegel II) brachte keine zusätzlichen Informationen. Die lineare Approximation der kumulativen Häufigkeiten beim Wandmalen und beim Kegelspiel ist nicht ganz so gut, wie bei der empfindlichen Einstellung des Triggerpegels. Die Korrelationen der in Tab. 1 aufgeführten Aktivitätskriterien zwischen beiden Pegeleinstellungen liegen zwischen

0,802 und 0,855. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, daß man bei Erhöhung des Pegel II in einen Bereich gelangt, wo den selektiven Aktivitätsraten eine gesonderte differentielle Bedeutung zukommt.

2. Zur Validität des Meßverfahrens

Das Hyperaktivitätssyndrom bei Kindern wird in seinen beiden Hauptkomponenten der Bewegungsunruhe und der generellen Aufmerksamkeitsstörung üblicherweise auf der Basis von qualitativen Verhaltensbeobachtungen beschrieben und diagnostiziert. Es ist von Interesse festzustellen, ob Schätzung und Messung die gleiche psychomotorische Dimension repräsentieren.

Wie erwähnt, führten wir an unserer Gesamtgruppe von 39 verhaltensschwierigen Kindern (darunter ein größerer Prozentsatz bewegungsunruhiger Kinder) mit mehreren Beurteilern einen Rating-Versuch durch, der eine Vielzahl psychologischer und Verhaltensdimensionen umfaßte, die für das Hyperaktivitätssyndrom relevant sind. Eine der graphischen Ratingskalen bezog sich auf den Grad der Bewegungsaktivität des Probanden. Neben den abschließenden Gesamurteilen der 3 Beurteiler aufgrund vielwöchiger Beobachtungen, deren Rangskalierung zur Auswahl unserer Stichprobe von 15 Kindern führte (s. im Vorigen), liegen von jedem Beurteiler mehrere Ratings der Bewegungsaktivität vor, so daß nach der „Methode der sukzessiven Kategorien“ eine Intervallskalierung versucht werden konnte. Zuerst wurden die Kategoriengrenzen der 7stufigen Ratingskala und dann die Skalenwerte der Probanden bestimmt (vgl. Guilford, 1954, S. 223–236). Die 7 Kinder aus dem unteren Bereich der Rangskala haben ihre Intervall-Skalenwerte alle unterhalb der Mittelkategorie (mehr oder weniger geringe Bewegungsaktivität), die 8 Kinder aus dem oberen Bereich der Rangskala liegen mit ihren Intervallwerten oberhalb der Mittelkategorie (mehr oder weniger große Bewegungsaktivität), wobei die Verteilung hier stärker zum Extrempol verschoben ist, als im Falle der ersten Gruppe.

Wichtig ist zu vermerken, daß das Bewegungs-Rating ca. $\frac{1}{4}$ Jahr vor der Bewegungsmessung erfolgte. Nach Abschluß der Bewegungsmessungen an unserer Stichprobe erhielten wir von der Heimpyschologin den Hinweis, daß eines der als „bewegungsruhig“ eingestuften Kinder in der Zeit nach dem Rating-Versuch ausgeprägt hyperaktive Verhaltensweisen entwickelt habe. Es handelt sich um Vp. G. S., deren gemessene Aktivitätsraten auch entsprechend hoch liegen (vgl. Abb. 3 und 4). Diese Vp. wurde bei den folgenden Analysen eliminiert.

Bei der Repräsentativitätsbestimmung gingen wir von den beiden Untergruppen der Stichprobe aus: Gruppe I = 6 Kinder, die als relativ „bewegungsruhig“, und Gruppe II = 8 Kinder, die als relativ „bewegungsunruhig“ beurteilt wurden. Als Kennwert wurde zunächst der *t*-Wert für die Differenzen der Gruppenmittelwerte der verschiedenen Bewegungsmaße berechnet. In Tab. 3 sind für alle Kriterien der Bewegungsmessung (Pegel I) die Mittelwerte und Streuungen der beiden Untergruppen sowie *t*- und *p*-Werte der Unterschiedsprüfung angeführt. Die erwartete Differenzierung des Meßverfahrens entsprechend den Schätzurteilen ist als deutliche statistische Gruppentendenz bei allen

Tabelle 3. Vergleich der Bewegungs-Meßwerte von 2 Extremgruppen der Rating-Skalierung

Mittelwerte (\bar{x}), Standardabweichungen (s), t -Werte für die Differenz der Gruppenmittelwerte, Irrtumswahrscheinlichkeiten (p). Diese statistischen Charakteristiken beziehen sich auf die Pegel-I-Werte. Für die Pegel-II-Werte sind lediglich die Irrtumswahrscheinlichkeiten der zugehörigen t -Werte angeführt

Kriterien der Bewegungsmessung	Gruppe I		t	p	p (Pegel II)
	$N = 6$	$N = 8$			
1. Summe der Bewegungsaktivitäten in allen Situationen	\bar{x} 849,5	2240,8 1061,3	3344,0	2,087	0,05 0,025
2. Summe der Bewegungsaktivitäten beim Wandmalen	\bar{x} 504,4	883,2 705,0	1654,6	2,270	0,025 0,01
3. Bewegungsaktivitäten/min, Wandmalen	\bar{x} 36,3	60,8 46,6	108,6	2,076	0,05 0,01
4. Summe der Bewegungsaktivitäten beim Kegelspiel	\bar{x} 194,3	406,5 117,5	465,2	0,705	N.S. 0,025
5. Bewegungsaktivitäten/min, Kegelspiel	\bar{x} 39,5	82,2 23,6	92,4	0,607	N.S. 0,05
6. Summe der Bewegungsaktivitäten beim freien Spiel	\bar{x} 679,8	934,5 342,1	1224,1	1,050	N.S. N.S.

Kriterien ausgeprägt, und trotz der geringen Gruppengrößen bei einseitiger Testung auch in 3 Merkmalen — die allerdings voneinander abhängen — (Gesamtaktivitätsmenge aller 3 Untersuchungssituationen, Gesamtmenge der Bewegungsaktivitäten und berechnete Minutenrate beim Wandmalen) statistisch gesichert. Eine entsprechende Auswertung der Pegel-II-Werte führte zu dem gleichen Ergebnis, zusätzlich einer signifikanten Differenz auch in beiden Kriterien des Kegelspiels, was in Hinblick auf die tätigkeitsspezifische Provokation heftigerer Bewegungen beim Kegeln versus Wandmalen von Interesse ist².

2 Aufgrund sehr signifikanter Varianzinhomogenitäten war bei den Pegel-II-Werten eine logarithmische Transformation der Originaldaten notwendig. Die statistische Beurteilung der Gruppenunterschiede bezieht sich hier also auf die transformierten Meßwerte.

Tabelle 4. Korrelationen zwischen den gemessenen Bewegungsraten und den Rang- bzw. Intervallskalenwerten eines Ratings der Bewegungsaktivität. Rang- und Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten
Zu den Triggerpegeln vgl. Tab. 1
Zur Konstruktion der Rang- und Intervallskala vgl. Text

Kriterien der Bewegungsmessung	Rating der Bewegungsaktivität			
	Rangskala Rho ($N = 14$)		Intervallskala $r (N = 14)$	
	Pegel I	Pegel II	Pegel I	Pegel II
1. Summe der Bewegungsaktivitäten in allen Situationen	0,666	0,679	0,697	0,602
2. Summe der Bewegungsaktivitäten beim Wandmalen	0,622	0,666	0,719	0,652
3. Bewegungsaktivitäten/min, Wandmalen	0,600	0,618	0,697	0,658
4. Summe der Bewegungsaktivitäten beim Kegelspiel	0,327	0,565	0,404	0,634
5. Bewegungsaktivitäten/min, Kegelspiel	0,248	0,525	0,380	0,613
6. Summe der Bewegungsaktivitäten beim freien Spiel	0,402	0,310	0,368	0,176

Als zweiter Kennwert der Repräsentativitätsbestimmung wurde für die gesamte Stichprobe ($N = 14$) und für alle Kriterien der Bewegungsmessung die Interkorrelation mit den Rangskalen- und Intervallskalenwerten des Ratings ermittelt. Die Repräsentativität des Meßverfahrens wird mit dieser Methode allerdings eher überschätzt, da eben nur mehr oder weniger extreme Fälle zugrunde gelegt wurden. Die Korrelationskoeffizienten der Tab. 4 spiegeln in ihrer Höhe das gruppenstatistische Ergebnis wider³. Nur in der freien Spielsituation mit ihrem stark situativ geprägten Aktivitätspattern ist weder bei den Pegel-I- noch bei den Pegel-II-Werten ein signifikanter Zusammenhang mit den Schätzurteilen nachweisbar.

Abschließend wird man nach dieser ersten empirischen Prüfung des neuen Meßverfahrens sagen dürfen, daß sich die (in geeigneten Untersuchungssituationen gemessene) „Aktivitätsmenge“ gut zur interindividuellen Differenzierung von Kindern eignet, und daß diese Dif-

³ In Wahrheit dürften die Koeffizienten als Kennwerte der Repräsentativität für die Verhaltensdimension noch höher liegen, wenn man die an sich nicht große Zuverlässigkeit der Schätzurteile berücksichtigt.

ferenzierung aufgrund einer Verhaltensdimension erfolgt, die in der klinischen und psychologischen Beobachtung als: hyperaktiv — hypoaktiv, bewegungsunruhig — bewegungsruhig, usw. beschrieben wird.

Diskussion

Das dargestellte Meßverfahren besitzt den wesentlichen Vorzug eines breiten Anwendungsbereiches, der von der Untersuchung einfacher, definierter Bewegungen über komplexe motorische Tätigkeiten bis zum freien Verhalten reicht und sich auf alle für das sog. „großmotorische“ Verhalten relevanten Körperteile (Arme, Beine, Rumpf) erstrecken kann. Durch eine technisch grundsätzlich realisierbare Miniaturisierung würden auch die Hand- und Fingerbewegungen („Feinmotorik“) zugänglich.

Mit der breiten Anwendbarkeit muß ein erheblicher Nachteil in Kauf genommen werden: die Reduktion der Bewegungsvielfalt eines untersuchten Verhaltensausschnittes auf ein unspezifisches Aktivitätsmaß mit entsprechend eingeengter Interpretierbarkeit. Zusätzliche Verhaltensbeobachtungen und/oder Bewegungsregistrierungen sind erforderlich, wenn man hier differenzieren will. In jedem Falle sind für die Anwendung des Meßverfahrens sorgfältig kontrollierte (standardisierte) Untersuchungsbedingungen notwendig, wie die im Vorigen nachgewiesene Abhängigkeit der „Aktivitätsmenge“ von den jeweiligen Tätigkeitsbedingungen zeigt.

Weitgehend definiert sind die Tätigkeitsbedingungen, wenn das Verfahren z. B. zur Messung des Beschleunigungsbetrages verwendet wird, mit dem Bewegungen aus Ruhepositionen initiiert werden, etwa bei Stoß- oder Schlagbewegungen des Armes. Solche Messungen könnten in Hinblick auf die psychomotorischen „impulsion-factors“ (s. Guilford, 1958) interessant sein.

In unserer empirischen Studie wurde die Bewegungsaktivität bei der kontinuierlichen Durchführung einer allen Kindern vertrauten und mehr oder weniger positiv erlebten, komplexen motorischen Tätigkeit (Malen an der Schmierwand, Tischkegelspiel) gemessen. Die stabilen individuellen Aktivitätsraten führen wir in erster Linie auf eine gleichmäßige Motivationslage zurück, die durch wiederholte Bekräftigungen von Seiten des Versuchsleiters und durch die in der Tätigkeit selbst liegenden Reinforcements erreicht wurde. Die interindividuellen Unterschiede in der Aktivitätsrate hängen möglicherweise mit dem Grad zentraler Aktivierung oder Vigilanz bei der Durchführung der Tätigkeit zusammen (doch wird zu diesem Punkt erst im Rahmen unserer Gesamtuntersuchung an verhaltenschwierigen und verhaltensauffälligen Kindern fundierter Stellung genommen werden können). Hier ist auch auf Untersuchungen hinzuweisen, bei denen die Bewegungsaktivität mit andere

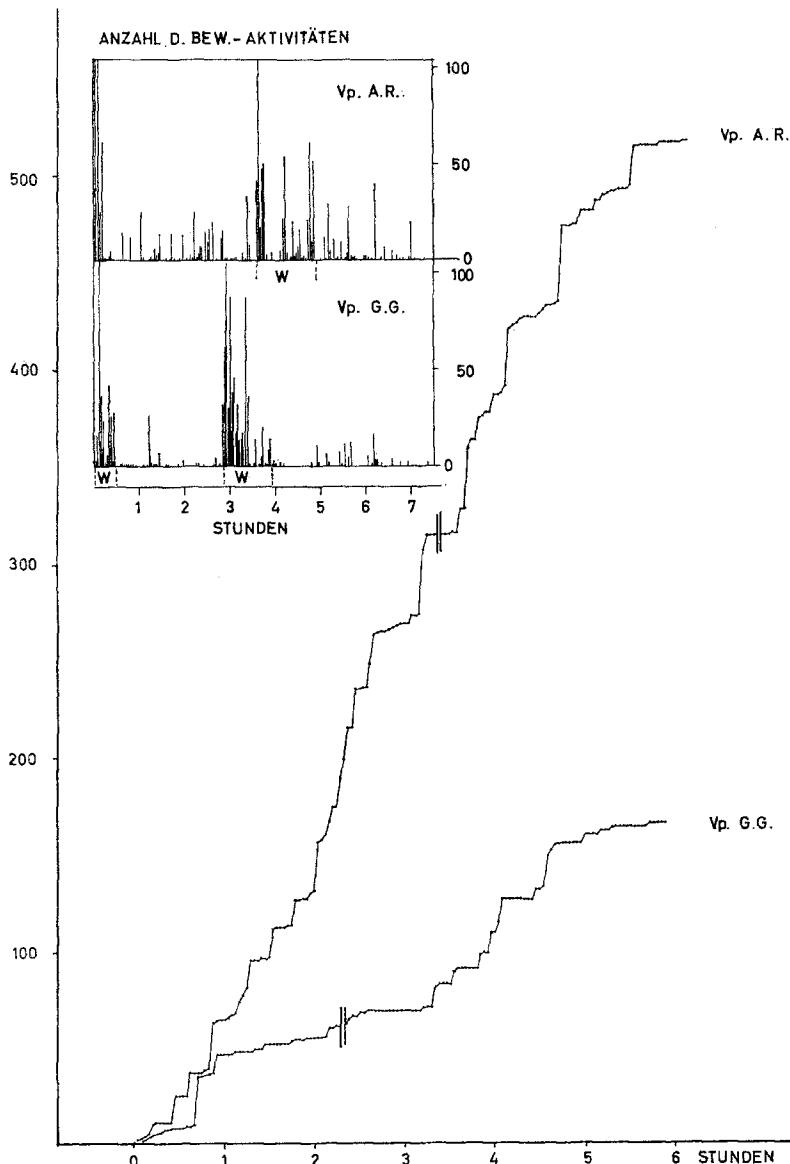


Abb. 6. Individuelle kumulative und sequentielle Bewegungsaktivitätsraten während des Nachtschlafes (Befestigung des Beschleunigungsaufnehmers am Oberarm der dominanten Seite). Das linke obere Diagramm zeigt die sequentiellen Aktivitätshäufigkeiten in 2,5 min-Intervallen während der registrierten Nacht. Wachphasen sind durch ein „W“ gekennzeichnet. Im Hauptdiagramm sind die kumulativen Aktivitätshäufigkeiten der reinen Schlafzeit dargestellt. Die Unterbrechungen der Kurven bezeichnen die eliminierten Wachperioden

Methoden während der Durchführung komplexer sensomotorischer Kontrolltätigkeiten (z. B. im Cockpit-Simulator) gemessen wurde (vgl. die Übersicht bei Eysenck, 1967, S. 153—163). Die Bewegungsmenge variierte in Abhängigkeit von Belastungs- und Ermüdungswirkungen und zeigte enge Beziehungen zu den Persönlichkeitsdimensionen: Neurotizismus, Extraversion und Introversion.

Will man die von definierten Willkürbewegungen relativ unabhängige motorische Unruhe („nervous movements“, „restless movements“) eines Probanden unmittelbarer erfassen, so ist die Bewegungsmessung in „tätigkeitsfreien Phasen“ der Vp. bzw. in entsprechend gestalteten Untersuchungssituationen vorzunehmen (vgl. Jones, 1941/43). Eine solche Versuchssituation ist auch die Bewegungsregistrierung während des Schlafes. Abb. 6 zeigt die mit unserem Meßverfahren ermittelte Bewegungsaktivität während des Nachschlafes von 2 Vpn. Der Telemetriesender war wie in den besprochenen Untersuchungen am Oberarm der dominanten Seite befestigt und störte die Vpn. in keiner Hinsicht. Im Teildiagramm (Abb. 6, oben links) sind die sequentiellen Aktivitätshäufigkeiten während der Meßperiode in $2^{1/2}$ min-Intervallen dargestellt. Aus Vergleichsgründen wurden bei beiden Probanden auch die Bewegungen im Wachzustand kurz vor dem Einschlafen und während einer ca. 1 stündigen Wachperiode im Verlaufe der Nacht (W) mit aufgenommen. Das Hauptdiagramm zeigt die kumulativen Häufigkeitskurven der reinen Schlafzeit. Charakteristisch ist der treppenförmige Verlauf, der die bekannte Periodizität der Motilität während des Schlafes anzeigt. Das durchschnittliche Aktivitätsniveau beider Vpn. differiert stark. Bei Vp. G. G. ist die oft beobachtete Vermehrung der Körperbewegungen in der zweiten Schlafhälfte zu erkennen (vgl. Oswald, 1962).

Kommende empirische Untersuchungen werden weitere Anwendungsmöglichkeiten des Meßverfahrens testen, die methodischen Aspekte der Anwendung differenzieren und die Psychophysiologie der Aktivitätskriterien in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen aufklären müssen.

Wir danken Herrn Dipl.-Ing. Detlef Burchard, der die Entwicklung und Konstruktion der Meßapparatur in seinem Laboratorium durchgeführt hat und technische Einzelheiten an anderer Stelle veröffentlichen wird.

Ferner danken wir den Heimleitern des Kinderdorfes Müllheim, Herrn und Frau Gerdell, für die großzügige Förderung bei der Durchführung der Untersuchungen.

Literatur

- Barnes, R. M.: Motion and time study, 4th Ed. New York: Wiley 1958.
Burchard, D.: Die überschlägige Berechnung von Kleinsendern. Funkschau 16 (1966).
Davis, D. R.: Pilot error—Some laboratory experiments. London: H.M.S.O. 1948.

- Eysenck, H. J.: The biological basis of personality. Springfield, Ill.: Ch. C. Thomas 1967.
- Frederiks, J. A. M.: Disorders of attention in neurological syndromes (Sensory extinction symptoms; the hyperkinetic syndrome). In: Handbook of clinical neurology (Edit.: P. J. Vinken and G. W. Bruyn), Vol. 3, pp. 187—201 (1969).
- Gerber, W.: Kann man den Schlaf objektiv beobachten? Dtsch. med. Wschr. **79**, 1785—1787 (1954).
- Grünwald-Zuberbier, E.: Aktivierung und Kontrolle bei verhaltensschwierigen Kindern im Bereich der Graphomotorik. Psychol. Beitr. **9**, 503—524 (1967).
- Guilford, J. P.: Psychometric methods. New York: McGraw-Hill 1954.
- A system of the psychomotor abilities. Amer. J. Psychol. **71**, 164—174 (1958).
- Herron, R. E., Ramsden, R. W.: A telepedometer for the remote measurement of human locomotor activity. Psychophysiology **4**, 112—115 (1967).
- Jones, M. R.: Measurements of spontaneous movements in adult psychotic patients by a time-sampling technique: a methodological study. J. Psychol. **11**, 285—295 (1941).
- Studies in "nervous" movements: I. The effect of mental arithmetic on the frequency and patterning of movements. J. gen. Psychol. **29**, 47—62 (1943).
- Lienert, G. A., Orlík, P.: Eine Maßzahl zur Bestimmung der Präzision psychologischer Planversuche. Z. Psychol. **172**, 203—216 (1965).
- Nadler, G., Goldman, J.: Electronics for measuring motions. Science **124**, 807—810 (1956).
- Siegel, S.: Nonparametric statistics for the behavioral sciences. New York: McGraw-Hill 1956.
- Skinner, B. F.: Cumulative record. New York: Appleton-Century-Crofts 1959/61.
- Stewart, M. A.: Hyperactive children. Scientific American, July 1970, pp. 94—98.
- Winer, B. J.: Statistical principles in experimental design. New York: McGraw-Hill 1962.

Dr. Erika Grünwald-Zuberbier
BRD-7801 Ebringen bei Freiburg
Schulstr. 1
Deutschland