
Untersuchungen zur Bedeutung des Bereitschaftspotentials (BP) als psychophysiologischem Parameter im Sport

Th. Barthel, M. Weiß (Projektleiter)
Universität-Gesamthochschule Paderborn
Sportmedizinisches Institut

VF 0407/01/36/98

1 Problem

Die Interdependenz zwischen Körper und Geist bedingt die Auswirkung einer körperlichen Überbeanspruchung auf die psychische Verfassung des Sportlers und umgekehrt. Eine frühzeitige Diagnose derartiger Veränderungen würde helfen, das Verletzungsrisiko zu reduzieren und das Training zu optimieren. Die Elektroenzephalographie (EEG) ermöglicht einen Zugang zur höchsten Steuerungsebene des Menschen, um den Einfluss von körperlichen und psychischen Belastungen auf die zentralnervalen Abläufe bei der Ausbildung und Ausführung motorischer Fertigkeiten zu untersuchen (BEYER/SCHUMANN, 1981).

In folgenden Studien wurden erstmalig in der sportmedizinischen Forschung bewegungsbezogene Hirnpotentiale auch quantitativ untersucht. Das *Bereitschaftspotential* (BP) gilt als eine aufgrund von Bewegungserfahrung, Befindlichkeit, Aufmerksamkeit und Motivation variabel ausgeprägte, assoziative Voraktivierung voraussichtlich benötigter kortikaler Ressourcen zur willkürlichen Ausführung einer gelernten Bewegungsaufgabe. Es ist also ein Vorgang, der einer willkürlichen, geplanten Bewegung vorausgeht (KORNHUBER/ DEECKE/GRÖZINGER 1980).

2 Methode

15 gesunde, ausdauertrainierte, rechtshändige (13) nach EHI¹ (OLDFIELD, 1971) Männer im Alter von 26 ± 3 Jahren, ($178 \pm 5,6$ cm, $71,8 \pm 3,6$ kg) nahmen an diesen Studien teil. In Studie I verblieben 14, in Studie II elf und in Studie III zehn auswertbare Probanden. Die Probanden waren frei von Medikamenten, Supplementen und Stimulanzen.

¹ Edingburgh Handedness Inventory

Studie I: BP-Ermittlung vor dem Antritt zum Radfahren nach unterschiedlicher Belastung der Testmuskulatur (Ruhe, Aufwärmen, submaximale, maximale Belastung auf dem Fahrradergometer).

Studie II: BP-Ermittlung vor dem Antritt zum Radfahren nach unterschiedlicher Belastung mit Nichttestmuskulatur (Ruhe, Aufwärmen, submaximale, maximale Belastung am Armkurbelergometer).

Studie III: BP-Ermittlung vor dem Antritt zum Radfahren vor und nach 40minütiger mentalkonzentrativer Beanspruchung durch Konzentration-Leistungs-Test nach DÜKER und LIENERT (1959).

In den Studien I (Fahrradergometer) und II (Armkurbelergometer) wurden die Sportler mit einem Stufentest nach vorheriger Gewöhnung an die Messapparatur und Ermittlung der Laktatleistungskurven wie folgt belastet: 1. Zehn Minuten unterhalb des beginnenden Laktatanstieges. 2. Drei Stufen von je sechs Minuten (fünf Min. Studie II) unter, im und über dem aerob-anaeroben Übergangsbereich. 3. Höchste absolvierte Stufe aus dem Vortest. Die Herzfrequenzen wurden kontinuierlich aufgezeichnet.

Die Hirnpotentiale wurden mittels 17 Elektroden einer Elektrodenhaube² über ca. 60-180 willkürliche Antrittsbewegungen (mit Blickfixierung) mit dem CATEEM-CATERPA[®]-System³ auf dem Fahrradergometer sitzend in Ruhe sowie nach 1., 2., und 3. aufgezeichnet. Zur Ermittlung des BPs wurden die EEG Abschnitte von 2000 ms vor bis 10 ms nach dem getriggerten Antritt aufsummiert und gemittelt. Die Analyse konzentriert sich auf die negativen Potentiale in den frontalen, zentralen und parietalen (Fz, Cz, Pz) Hirnregionen sowohl qualitativ als Hirnmap als auch quantitativ anhand charakteristischer Parameter (Onset=zeitlicher Beginn der „negativen“ Auslenkung vor dem Trigger sowie gemittelte Amplitude zum Zeitpunkt -500 bis -100 vor dem Trigger=BP500, maximale Amplitude=BPmax und die Gesamtleistung, BPPower=Integral unter Potentialkurve). Es gingen nur artefaktfreie EEG-Abschnitte in die Analyse ein. Zur Objektivierung der Belastung wurden Herzfrequenz (HF), Laktat- (LA), Ammoniak-(NH³) und Katecholaminkonzentration ermittelt. Zusätzlich wurde die Befindlichkeit durch die Basler Befindlichkeits-Skala erfasst (vgl. HOBI 1985).

² Fa. Electro Cap Co., Eaton, USA angeordnet im internationalen 10:20 System (Jasper 1958), mit Cz als physikalische Referenz

³ CATEEM/CATERPA=ComputerAidedTopographicalElektroencephalometryMeasurement/
ComputerAidedTopographicalEventsRelatedPotentialAnalysis

Statistische Analyse: Mit Hilfe der SPSS-Software wurden, bei Normalverteilung der Datensätze, ANOVA und (posthoc) t-Test für gepaarte Stichproben, ansonsten Friedman- und Wilcoxon-Test durchgeführt. Es wurde ein Signifikanzlevel von $p < 0,05$ festgelegt. Die Ergebnisse werden als Mittelwert und Standardabweichung angegeben.

3 Ergebnisse

Die Parameter (HF, LA, NH3) unterstrichen die Einhaltung der Belastungsvorgaben und zeigten erwartungsgemäß signifikante Anstiege mit zunehmender Belastungsintensität (Studie I und II).

Die über alle Probanden gemittelte qualitative Darstellung (grand average) der Hirnpotentiale als Hirnmaps und Analogkurven (Abb. 1 und 2) dokumentiert literaturkonform bei allen drei Studien in gleicher Weise die prinzipielle Nachweisbarkeit eines typischen Bereitschaftspotentials über den zentralen Hirnarealen unter Ruhebedingungen. Die helleren Bereiche in den Hirnmaps bedeuten testbewegungstypische Negativierungen im zeitlichen Abschnitt 100ms vor der sichtbaren Bewegung über beinspezifische Hirnregionen. Bei symmetrischer zentraler- und parietaler Verteilung erweisen sich die frontalen Negativierungen zwischen Studie I (mehr rechts frontal) und Studie II (mehr links frontal) etwas unterschiedlich.

In Studie I (physische Beanspruchung mit der Testmuskulatur) zeigen sich nach maximaler Beanspruchung verstärkte Negativierungen über den zentralen bis weit in die frontalen Hirnregionen (hellere Mapbereiche). Dieser Effekt ist nicht nachweisbar (Abb. 2), wenn die Testmuskulatur nach Armkurbelergometrie (Studie II) nicht ermüdet ist. Die mentale Beanspruchung (Studie III) verursacht keine qualitativen Veränderungen.

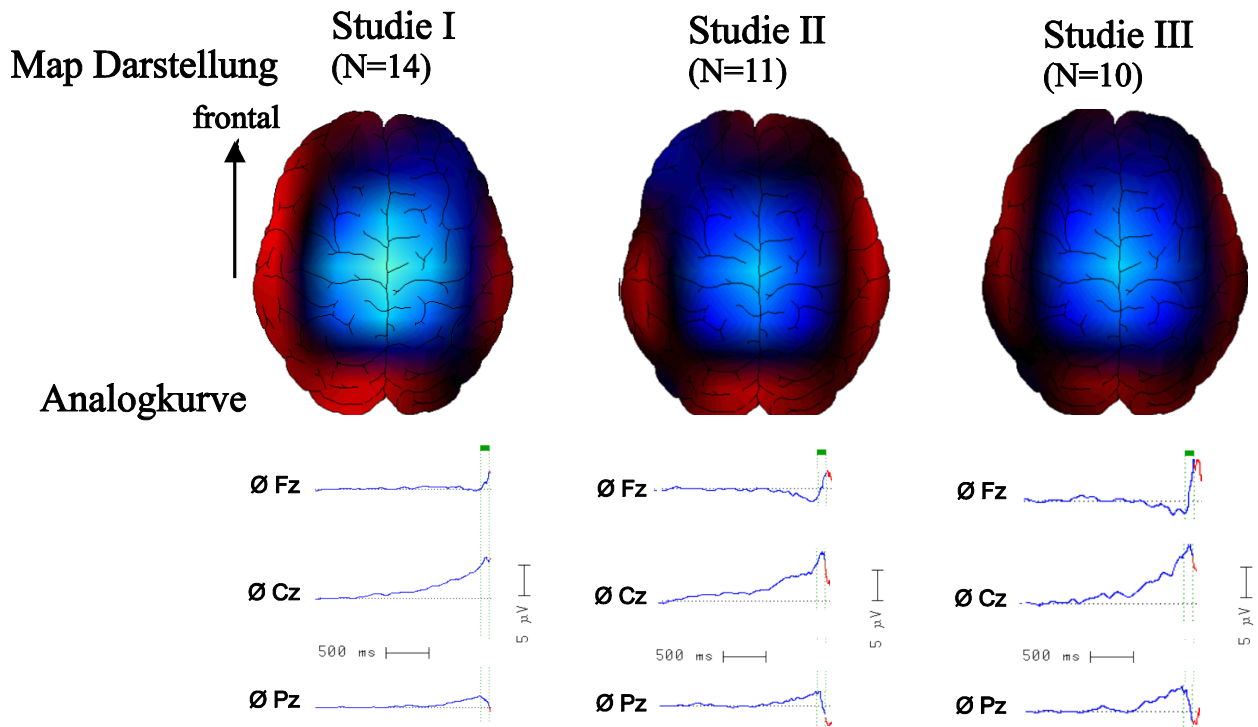


Abb. 1: Bereitschaftspotential vor dem Test im Grand Average, als Map- und Analogkurvendarstellung bei Studie I, II und III

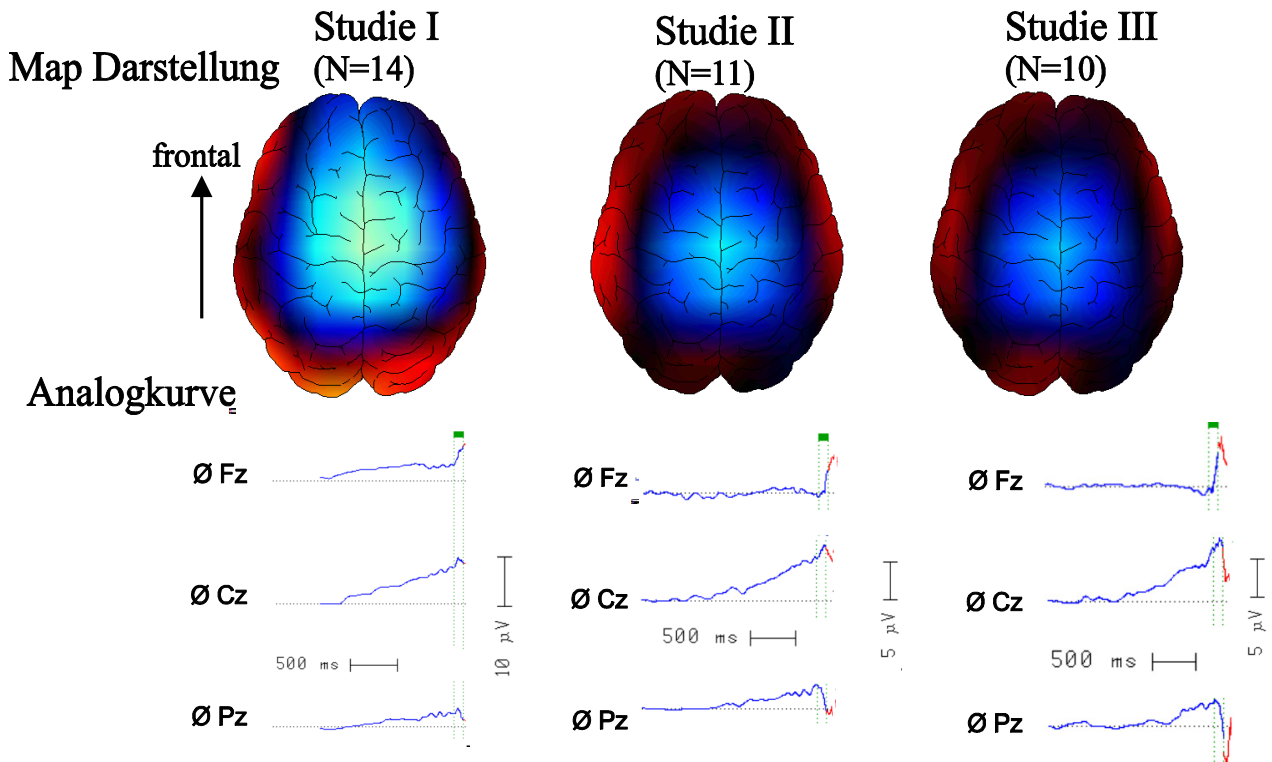


Abb. 2: Bereitschaftspotential nach maximaler Belastung im Grand Average, als Map- und Analogkurvendarstellung bei Studie I, II und III

Die quantitative Auswertung (Tab. 1) zeigt nach zunehmender Erschöpfung über den zentralen und z.T. frontalen Positionen eine signifikante Zunahme der Leistung (BPPower) und der maximalen Amplituden (BPmax, BP500) des Bereitschaftspotentials (BPs). Nach Armbearbeitung (Studie II) sind die Veränderungen ähnlich, aber mit geringerer Amplitude. Bei Studie III ergaben sich keine signifikanten Veränderungen.

Tab. 1: „Bereitschaftspotentialparameter“ (BP) in Mittelwert und Standardabweichung ausgewählter Elektrodenpositionen R=Ruhe; 1=Warm up; 4=submaximale Belastung; 5=maximale Belastung *= $p < 0.05$, **= $p < 0.01$, ***= $p < 0.001$ (T-test) += $p < 0.05$ (WILCOXON)

Die Erhebung der subjektiven Befindlichkeit lieferte in den Items zur Vitalität und der sozialen Extrovertiertheit (Aussenzuwendung) signifikante Belastungseffekte.

4 Diskussion

Insgesamt ist es zum ersten Mal - mit Ausnahme einer Falldokumentation (SCHÖBER, 1987) - gelungen, ein Bereitschaftspotential vor einer sportartspezifischen Bewegungshandlung unter verschiedenen Belastungszuständen zu erfassen. Die typischen Kurvenverläufe für *Bereitschaftspotentiale* stimmen mit denen klassischer Studien überein (vgl. BOSCHERT/DEECKE, 1986, SHIBASAKI et al., 1981). Ein neuer Befund ist die größere Negativität der Hirnpotentiale nach zunehmender Belastung und die Ausweitung bis in den frontalen Kortex (Studie I) im Zustand der lokalen muskulären Ermüdung bei definierten metabolischen Kriterien (Laktat-, Ammoniakanstieg). Erfolgt eine Beanspruchung mit nicht an der Testbewegung beteiligten Muskelpartien, sind bei gleichen Laktat- und Ammoniakwerten diese Veränderungen nicht nachweisbar. Veränderte Testbewegungsbedingungen (Kraft, Geschwindigkeit), die BP-Veränderungen bedingen (WALLENSTEIN et al., 1995), können in diesen Studien ausgeschlossen werden. Als vorläufige Erklärung ergibt sich hierfür die sensorische Integration der lokalen Muskelveränderungen, die als Bild einer veränderten Ausgangssituation zu einer neuen Bewegungsplanung zwingt. Kompensatorisch werden die motivational und kognitiv bedeutsamen frontalen Areale in die Planung mit einbezogen. Durch Erhöhung der Aufmerksamkeit, Konzentration und Motivation wird die Bewegung an veränderte Ausgangssituationen angepasst (vgl. KRISTEVA/KORNHUBER, 1980).

Mit zunehmender Erschöpfung erfordert die Durchführung einer Bewegungshandlung größere willentliche Anstrengung, wenn die Testbewegungsmuskulatur gleichzeitig lokal ermüdet ist.

5 Literatur

BEYER, L.; SCHUMANN, H.: Möglichkeiten neurophysiologischer Untersuchungen in der Sportmedizin anhand von zwei gewählten Beispielen. *Medizin und Sport* 21 (1981) 3

BOSCHER, T. J.; DEECKE, L.: Cerebral potentials voluntary toe, knee and hip movements and their vectors in human precentral gyrus. *Brain Research* 376 (1986), 175-179

DÜKER, H.; LIENERT, G.A. (Hrsg.): K-L-T. Der Konzentrations-Leistungs-Test Handanweisung. Göttingen 1959

HOBI, V.: Basler Befindlichkeits-Skala: Ein Self-Rating zur Verlaufsmessung der Befindlichkeit (Manual). Weinheim 1985

KORNHUBER, H.H.; DEECKE, L.; GRÖZINGER, B.: Was geht in unserem Gehirn vor, bevor wir eine Bewegung machen? Hirnströme vor Bewegung. *Umschau* 80 (1980), 239-242

KRISTEVA, R.; KORNHUBER, H.H.: Cerebral potentials preceding related to the smallest human finger movement. In: KORNHUBER, H.H.; DEECKE, L. (eds.): Motivation, Motor and Sensory Processes of the Brain. Electrical potentials, behaviour and clinical use [Progress in Brain Research, Bd. 54]. Amsterdam 1980, 748-754

OLDFIELD, R.C.: The assessment and analysis of handedness: "The Edinburgh Inventory". *Neuropsychologia* 9 (1971), 97-113

SCHOBBER, F.: Psychophysiologische Komponenten der sportlichen Bewegungsleitung und des sportlichen Trainings – ein neurophysiologischer Beitrag. Dissertation, Jena 1987

SHIBASAKI, H.; BARRETT, G.; HALLIDAY, E.; HALLIDAY, A.M.: Cortical Potentials Associated with voluntary Foot Movement in Man. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 52 (1981), 507-516

WALLENSTEIN, G.V.; NASH, A.J.; SCOTT KELSO, J.A.: Frequency and phase characteristics of slow cortical potentials preceding bimanual coordination. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 94 (1995), 50-59