

# Flimmerverschmelzungsfrequenz und zentralnervöse Aktivierung

J. Wiemeyer

Institut für Sportwissenschaft, TU Darmstadt

## Zusammenfassung

Die Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF) ist als eindimensionaler, induktiver Beanspruchungsindikator des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus (AZAN) zu interpretieren. Die FVF ist ein multifaktorielles Konstrukt, das von zahlreichen Einflußgrößen bestimmt wird. Im vorliegenden Beitrag werden erstens die verschiedenen Einflußgrößen dargestellt und zweitens im Überblick die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten der FVF in Sport und Sportwissenschaft kritisch diskutiert.

**Schlüsselwörter:** Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF), psychophysiologisches Aktivierungsniveau, Psychophysik, psychophysische Beanspruchung

## Critical flicker-fusion frequency (CFF) and central nervous activation

J. Wiemeyer

### Abstract

Critical flicker-fusion frequency (CFF) is a one-dimensional indicator of general central nervous activation level. It is a multi-factor construct which is determined by many parameters. The purpose of this contribution is first to discuss the factors influencing CFF and secondly to give a critical review of how CFF can be applied to problems of sports and sports science.

**Key words:** critical flicker-fusion frequency (CFF), psychophysical activation level, psychophysics, psychophysical strain

Neurol Rehabil 2002; 8 (1): 29-34

## Einleitung

Psychophysische Aktivierung als hypothetisches Konstrukt »Funktionszustand von Neuronen bzw. Neuronengruppen des Zentralnervensystems« [14] kann unter zwei Aspekten betrachtet werden: Die Begriffe *Aktivierung* und *Deaktivierung* bezeichnen Veränderungsprozesse dieses Funktionszustandes, der Begriff *Aktivierungsniveau* bezeichnet einen mehr oder weniger stabilen Zustand.

Weiterhin lassen sich tonisch-generalisierte von phasisch-lokalen Aktivierungsprozessen und -zuständen unterscheiden. Zentralnervöse Aktivierungsprozesse und -zustände können prinzipiell auf zwei Arten gemessen werden:

- *Direkte Aktivierungsmessungen* können z. B. mit Hilfe von Mikroelektroden bzw. Mikroelektrodenfeldern, EEG, evozierten Potentialen (EP), PET, MEG oder NMR durchgeführt werden. Hier werden die unmittelbaren bioelektrischen oder biochemischen Effekte der Aktivierung des ZNS erfaßt.
- *Indirekte Aktivierungsmessungen* können über die Funktionen der jeweils aktivierten oder deaktivierten Nervenzellgruppen durchgeführt werden. Hier werden z. B. vegetative Effekte sowie sensomotorische, kognitive

oder perzeptive Indikatoren gemessen. Die Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF) ist den indirekten Aktivierungsmessungen zuzuordnen.

In diesem Beitrag sollen einerseits die Grundlagen der FVF-Messung dargestellt werden, um den potentiellen Wert dieses Meßverfahrens abschätzen zu können. Andererseits sollen die Einsatzgebiete der FVF als Indikator von zentralnervösen Aktivierungsprozessen aufgezeigt werden.

## FVF als psychophysiologisches Meßverfahren

Die Flimmerperzeption betrifft letztlich das zeitliche Auflösungsvermögen des visuellen Systems. Ein Flimmerstimulus kann durch drei Eigenschaften charakterisiert werden:

- Frequenz
- Modulationstiefe
- Mittlere Leuchtdichte

Durch isolierte Veränderung jeder dieser drei Eigenschaften kann ein Punkt erreicht werden, an dem das visuelle System nicht mehr in der Lage ist, ein Flimmern zu erkennen. An diesem Punkt ist die Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF) erreicht.

Wenn man zwei Merkmale (Frequenz und Modulationstiefe) verändert und die Flimmersensitivität mißt, erhält man eine »de Lange-Kurve« (s. Abb. 1; zu verschiedenen Varianten vgl. besonders [2]). Die weiße Fläche unter der Kurve zeigt an, bei welchen Kombinationen aus Frequenz und Modulationssensitivität noch ein Flimmern wahrgenommen werden kann.

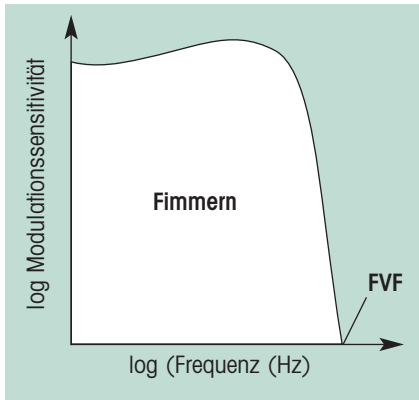


Abb. 1: Schematische Darstellung einer de Lange-Kurve nach Kranda, Hansen [7]

Die abgebildete de Lange-Kurve zeigt deutlich, daß das visuelle System hinsichtlich der Flimmerperzeption ein Tiefpaßfilter ist. Niedrige Frequenzen werden besser, d. h. mit größerer Modulationssensitivität, wahrgenommen als hohe Frequenzen. Die Flimmerverschmelzungsfrequenz im Sinne der höchsten Frequenz, an der der Übergang vom Flimmern zum subjektiven Eindruck kontinuierlichen Leuchtens geschieht, ist damit – im Gegensatz zu den de Lange-Kurven – ein eindimensionales Maß der Hochfrequenzauflösung des visuellen Systems.

1. Zwei FVF-Konzepte

Man kann zwei FVF-Konzepte unterscheiden:

- Das *psychophysikalische Meßkonzept* untersucht die Flimmerperzeption in Abhängigkeit von den physikalischen Eigenschaften des Flimmerstimulus – unter der Annahme der Konstanz der physiologischen Randbedingungen.
- Das *psychophysiologische Meßkonzept* untersucht die Flimmerperzeption in Abhängigkeit vom physiologischen Zustand des Menschen – unter der Annahme der Konstanz der physikalischen Meßbedingungen.

2. Stimulusseitige Einflußgrößen der FVF

Eine Reihe von stimulusseitigen und verfahrensspezifischen Faktoren beeinflussen die FVF [14]:

- *Retinale Leuchtintensität (Pupillenlichtstärke)*  
Die FVF steigt proportional mit dem Logarithmus der Pupillenlichtstärke (FERRY-PORTER-Gesetz; Abb. 2).
- *Fläche des Flimmerstimulus*  
Die FVF steigt proportional mit dem Logarithmus der Lichtfläche (GRANIT-HARPER-Gesetz; s. auch Abb. 4).

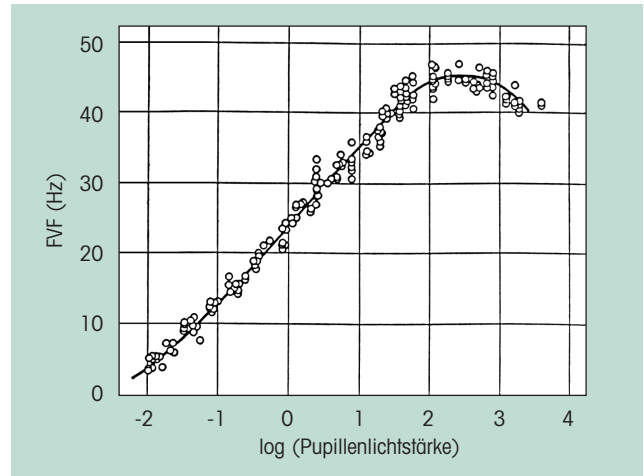


Abb. 2: Abhängigkeit der FVF von der Pupillenlichtstärke (Schwinkel 2°, weißer Stimulus; 10° Hintergrund, foveale Projektion [4])

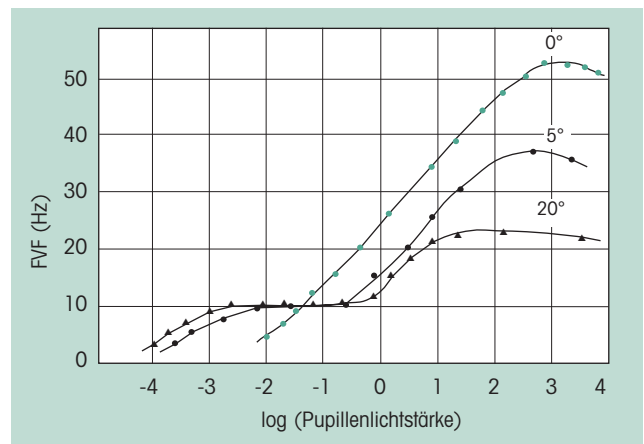


Abb. 3: Abhängigkeit der FVF von der Pupillenlichtstärke und der retinalen Projektion (Schwinkel 2°, weißer Stimulus; 10° Hintergrund, 3 vertikale retinale Projektionen: foveal, 5° und 20° oberhalb der Fovea [4])

– *Retinale Projektion*

Die FVF hängt von der horizontalen und vertikalen Projektion des Stimulus auf die Retina ab. In Abb. 3 ist die FVF in Abhängigkeit von drei verschiedenen vertikalen retinalen Projektionen dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, daß bei dem untersuchten kleinen Flimmerstimulus und in Intensitätsbereichen über 1 td (Troland) die FVF mit zunehmender vertikaler Exzentrizität absinkt.

In Abb. 4 ist die Interaktion zwischen der horizontalen retinalen Projektion und der Lichtfläche dargestellt. Es zeigt sich, daß mit zunehmender Lichtfläche die höchste Flimmersensitivität in der Peripherie liegt.

– *Wellenlänge (Farbe)*

Die FVF steigt in der Reihenfolge Blau, Grün, Rot und Weiß. Allerdings sind hier zahlreiche Randbedingungen zu beachten.

– *Hell-Dunkel-Quotient*

Zum Einfluß des Hell-Dunkel-Quotienten (HDQ) auf die FVF haben wir zwei Experimente mit 28 bzw. 20 Probanden durchgeführt (s. Abb. 5). Insgesamt finden wir bei einem Hell-Dunkel-Quotienten von 1:3 die höchste FVF.

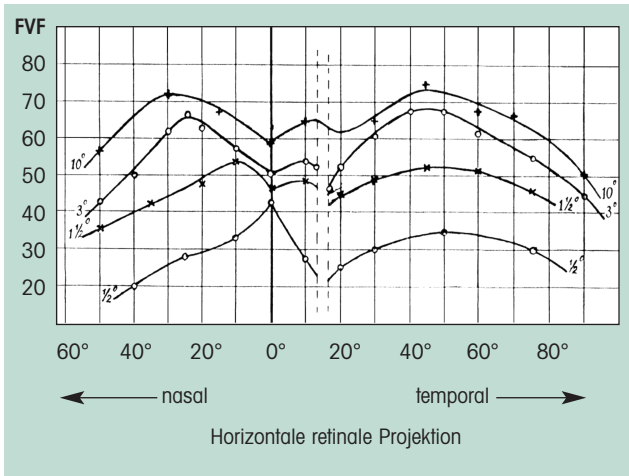


Abb. 4: Interaktion von Lichtfläche und horizontaler retinaler Projektion (weißes Licht, rotierende Scheibe, nach Hylkema [5])

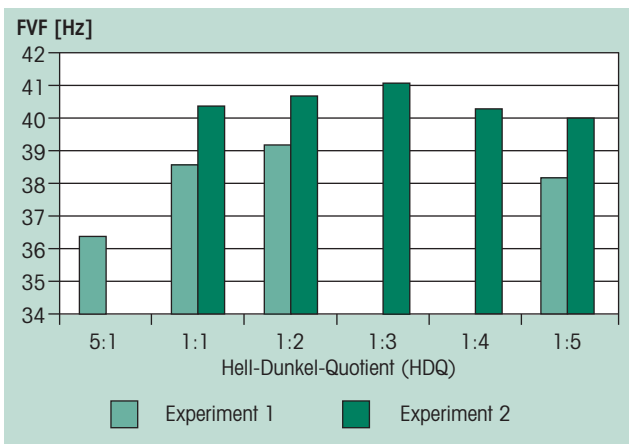


Abb. 5: Abhängigkeit der FVF vom Hell-Dunkel-Quotienten (HDQ)

- *Farbe/Fläche des Hintergrundes*  
Hier gibt es komplexe retinale Interaktionen, die Einfluß auf die Flimmersensitivität nehmen.
- *Meßverfahren*  
Auch die Art und die Parameter des eingesetzten Meßverfahrens (Herstellungsmethode, Grenzmethod, Konstanzmethoden; vgl. [14]) haben Einfluß auf die FVF. Wir verwenden eine räumlich-zeitliche Auswahlmethode mit spezifischen Verfahrensparametern (vgl. besonders [19]), um auf diese Weise die Antwort-, Blick- und Suchstrategie der Probanden kontrollieren zu können.

3. Personseitige Einflußgrößen der FVF

Neben stimulusseitigen Faktoren nehmen auch vielfältige personseitige Faktoren Einfluß auf die FVF [14]:

- *Adaptationszustand*  
Die FVF steigt bei Helladaptation, während sie bei Dunkeladaptation und Blendung sinkt.
- *Akkommodationszustand*  
Die FVF ist bei Nahakkommodation höher als bei Fernakkommodation.

- *Augenfarbe*  
Die FVF ist bei Probanden mit blauen Augen höher als bei Probanden mit braunen Augen.
- *Monokulares vs. binokulares Sehen*  
Tendenziell ist die binokulare FVF höher als die monokulare FVF. Allerdings ist die Befundlage nicht eindeutig.
- *Physiologischer Zustand des ZNS*  
Unter verschiedenen pathologischen Bedingungen sinkt die Flimmersensitivität, während nach psychopharmakologischen Interventionen differentielle FVF-Verläufe gefunden werden. Als Folge von Ermüdung bzw. Beanspruchung kann die FVF sowohl ansteigen als auch absinken.
- *Risikoverhalten*  
Jede Schwellenmessung steht auch unter dem Einfluß des Risikoverhaltens der Versuchsperson. Dieser Zusammenhang wurde intensiv von der Signalentdeckungstheorie analysiert. Um perzeptives und Risikoverhalten zu trennen, sind allerdings sehr zeitaufwendige Messungen erforderlich. Wir lösen das Problem, indem wir die Probanden zu einer vorsichtigen Entscheidungsstrategie instruieren und durch zufällig eingestreute »Catch«-Versuche die Einhaltung dieser Strategie überwachen [17].
- *Übung*  
Ein weiteres Problem ist die Übungsabhängigkeit von Schwellenmessungen. Wir haben dieses Problem in zwei Experimenten erforscht:  
Im ersten Experiment haben wir insgesamt 29 Probanden unter drei verschiedenen Bedingungen (Üben ohne Rückmeldung, mit genauer Rückmeldung oder mit dichotomer Rückmeldung) untersucht. Die FVF wurde zweimal als Baseline und danach als Pretest gemessen. Danach folgten vier Meßdurchgänge unter einer der oben genannten Bedingungen. Nach 10 Minuten bzw. einer Woche wurden zwei Posttests durchgeführt. Abb. 6 zeigt, daß keine der drei Bedingungen in der Übungsphase zu einem Anstieg der FVF-Werte führte. Allerdings zeigt sich in allen Gruppen nach einer Woche (Posttest 2) ein signifikanter FVF-Anstieg. Es liegt der Verdacht nahe, daß sich in der aktuellen

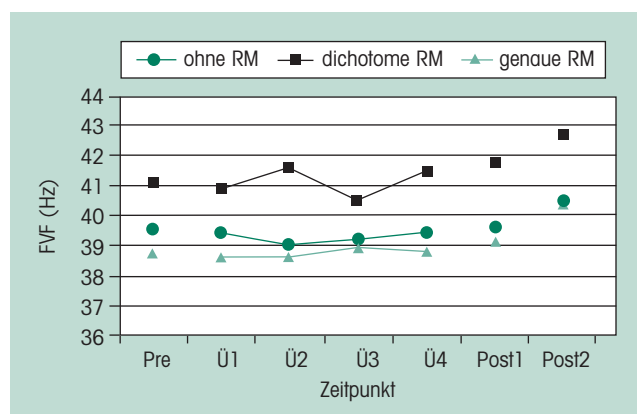


Abb. 6: Abhängigkeit der FVF von der Übung unter verschiedenen Rückmeldungsbedingungen (Experiment 1; n=29)

Übungsphase Übungs- und Beanspruchungseffekte durch das Meßverfahren überlagert haben.

Im zweiten Experiment versuchten wir, das Problem der möglichen Überlagerung von Übungs- und Beanspruchungseffekten zu umgehen, indem wir die vier Versuche auf zwei Übungseinheiten im Abstand von einem Tag verteilten. In jeder Übungseinheit fanden zwei Versuche im Abstand von 10 Minuten statt. Insgesamt 20 Probanden übten entweder ohne oder mit Rückmeldung. Nach einer Woche fand ein Posttest statt. Abb. 7 zeigt, daß bereits zu Beginn die beiden Gruppen über unterschiedliche FVF-Niveaus verfügen. Er zeigt sich kein Übungseffekt.

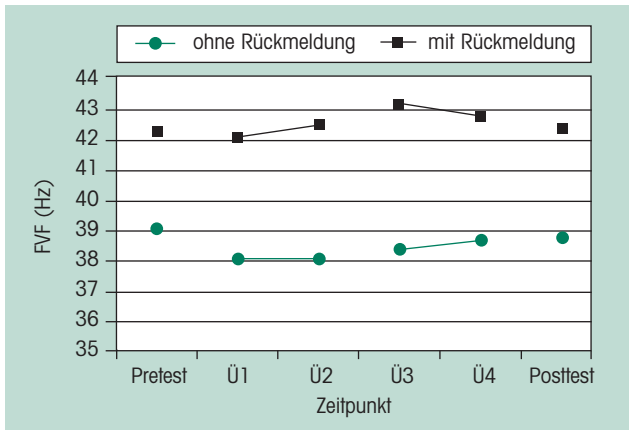


Abb. 7: Abhängigkeit der FVF von der Übung unter verschiedenen Rückmeldungsbedingungen (Experiment 2; n=20)

4. Zur Reliabilität und Validität der FVF

Wir messen die FVF – wie bereits erwähnt – mit Hilfe einer räumlich-zeitlichen Auswahlmethode und spezifischen Verfahrensparametern. Die Test-Retest-Reliabilität wurde mittlerweile mehrfach geprüft und liegt in zwei aufeinanderfolgenden Messungen immer deutlich über 0,90.

Zur Prüfung der kriterienbezogenen Validität der FVF wurden neben vielfältigen anderen Kriterien auch EEG-Parameter erhoben (z. B. mittlere Periodendauer bzw. Frequenz im  $\alpha$ -Wellenbereich, Frequenzspektrum; [14]). Insgesamt bestätigen die Befunde, daß die FVF als valider Indikator des *allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus (AZAN)* anzusehen ist. Allerdings reagiert die FVF nicht so sensibel wie die direkten Verfahren.

Zwar wird die Flimmerperzeption primär durch die zeitlichen Übertragungseigenschaften der Retina (Photosensoren) limitiert, da der Cortex wesentlich höhere Frequenzen verarbeiten kann. Neuroanatomisch ist aber noch unklar, durch welche neuronalen Interaktionen die Flimmerperzeption moduliert wird [7]. Es erscheint durchaus möglich, daß nicht die Flimmerperzeption selbst, sondern die Antwortneigung des Probanden durch spezifische oder unspezifische Aktivierungsprozesse beeinflusst wird. Dies zeigt sich einerseits im Anstieg der Quote falschen Alarms bei einer eigenen Untersuchung [17] und andererseits in dem

Befund, daß kortikale Gleichspannungsschwankungen im Sinne zunehmender Negativierung die Quote falschen Alarms erhöhen (s. Abb. 8). Das bedeutet, daß mit steigender Aktivierung die Neigung der Probanden zu einem riskanten Diskriminationsverhalten ansteigt.

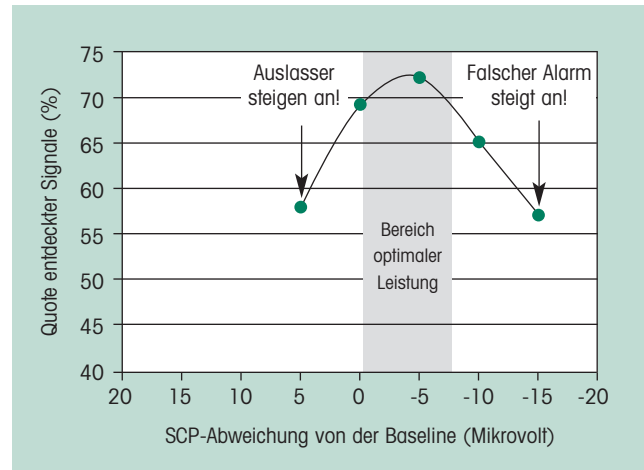


Abb. 8: Leistung und Antwortneigung in einer Signalentdeckungsaufgabe in Abhängigkeit von langsamen kortikalen Gleichspannungsveränderungen [10]. Je weiter das SCP in Richtung negativer Werte verschoben ist, desto höher ist die Aktivierung

Die FVF stellt eine induktive Beanspruchungsgröße dar, d. h. anders als z. B. bei der isometrischen Maximalkraft kann man die FVF nicht auf ein Beanspruchungsmodell mit Maximalwert beziehen, sondern nur phänomenorientiert als zentralnervöse Beanspruchungsgröße interpretieren [9]. Dies hat spezifische Vor- und Nachteile [20]. In Kombination mit deduktiven Beanspruchungsgrößen kann die FVF ihre beste diagnostische Wirkung entfalten.

**Einsatz der FVF als psychophysiologischer Beanspruchungsindikator in der Sportwissenschaft – heterogene Befunde und Interpretationen**

Neben der Psychophysiologie, Wahrnehmungspsychologie, Neuropathologie, Neuropsychologie, Psychopharmakologie und Arbeitswissenschaft setzt auch die Sportwissenschaft FVF-Messungen bei unterschiedlichen Fragestellungen ein (Übersichtsbeiträge: [15, 16, 20]). Dabei wird die FVF teils als abhängige, teils als unabhängige Variable erhoben. Außerdem werden sehr unterschiedliche Meßmethoden eingesetzt.

1. FVF als Indikator psychophysischer Effekte von Auf- und Abwärminterventionen

Generell läßt sich feststellen, daß nach Aufwärminterventionen die FVF ansteigt. Allerdings wurden sehr unterschiedliche quantitative Ausprägungen der FVF-Dynamik gefunden, die teils verfahrensabhängig sind.

Exemplarisch wird hier eine Untersuchung von *Rothe* [11] dargestellt. Der zweifaktorielle Versuchsplan mit Meßwiederholung auf dem Faktor Aufwärmhinhalte (n=9 Probanden pro Gruppe) hatte die folgende Struktur:

- 5 verschiedene Inhalte: Stretching, isometrische Kontraktionen, dynamisches Aufwärmen im Herzfrequenzbereich von 110–140/min bzw. 140–180/min und eine Mischung aus den vier vorher dargestellten Inhalten
  - 3 verschiedene Dauern: 10, 15 und 20 Minuten
- Neben der FVF wurden auch Herzfrequenz, Laktat und Ammoniak gemessen.

Die in Abb. 9 dargestellten Ergebnisse zeigen, daß Stretching zu einem signifikanten FVF-Abfall, isometrische Kontraktionen und gemischte Inhalte zu keinen Effekten, leicht-dynamisches Aufwärmen zu einem signifikant-progressiven FVF-Anstieg und intensiv-dynamisches Aufwärmen zu einem signifikanten FVF-Anstieg mit anschließendem Abfall führt [6]. Die Dauer des Aufwärmens hatte überhaupt keinen nachweisbaren Effekt auf die FVF-Dynamik.

Nach Abwärmmaßnahmen stellten *Jendrusch, Voigt und de Marées* [6] einen Abfall der FVF als Ausdruck psychophysischer Regenerationsprozesse fest.

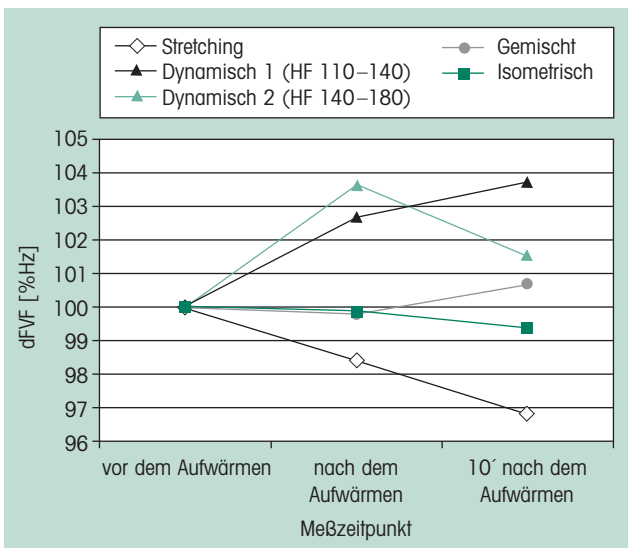


Abb. 9: Veränderungen der FVF Abhängigkeit von verschiedenen Aufwärmhalten (nach *Rothe* [11])

## 2. FVF als Indikator psychophysischer Beanspruchung durch primär konditionelle Belastungen

Neben diesen Befunden zeigen zahlreiche weitere Ergebnisse, daß Beanspruchungen im Sport sich differentiell auf das über die FVF gemessene allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau auswirken. Generell kann als gesichert gelten, daß konditionelle Beanspruchungen die FVF systematisch beeinflussen. Hier werden einerseits (intra)individuelle FVF-Reaktionsprofile berichtet, andererseits aber auch interindividuell reproduzierbare, von den metabolischen oder kardiozirkulatorischen Beanspruchungsindikatoren (z. B.

Herzfrequenz, Laktat- und Ammoniakkonzentration im Blut) abhängige FVF-Veränderungen diskutiert.

Neben der Intensität und den Inhalten der Belastung bzw. Beanspruchung spielt auch die Belastungsdauer eine bedeutsame Rolle [3]. Als »Grobmodell der Aktivierungsdynamik« [6, Seite 211] wird angenommen, daß das AZAN im Verlauf der Aufgabenbewältigung zunächst ansteigt (Überwiegen von Aktivierungsprozessen), wobei das Ausmaß des Anstiegs motivationsabhängig variieren kann, um später infolge des Überwiegens von Ermüdungsprozessen wieder abzufallen. Allerdings ist die Befundlage widersprüchlich.

Eine gewisse Sonderstellung im Hinblick auf die Untersuchung sportlicher Beanspruchungen auf das AZAN nimmt das Experiment von *Mangold und Raschka* [8] ein: Die Autoren fanden nach Judo-Würgegriffen von 6 bis 11 Sekunden Dauer einen signifikanten FVF-Abfall, den sie auf die auftretende Hypoxie zurückführen.

## 3. FVF als Indikator psychophysischer Beanspruchung durch primär koordinative Belastungen

Hinsichtlich des Einflusses koordinativer Beanspruchungen auf die FVF liegen kaum Befunde vor. Hier werden individualtypische Reaktionsverläufe berichtet.

## 4. FVF als Indikator der psychophysischen Leistungsbereitschaft

In diesen Untersuchungen wurde der Einfluß des AZAN auf sportmotorische Leistungen erforscht. Mehrere Untersuchungen finden systematische korrelative Zusammenhänge zwischen der FVF und der Leistung in nachfolgenden Tests. Allerdings gibt es ebenso Untersuchungen, die keine Zusammenhänge finden.

Hinsichtlich des sportmotorischen Lernens bzw. Techniktrainings sind bisher keine Effekte nachweisbar [1, 9].

## 5. Kritische Bewertung der aktuellen Situation

Im Hinblick auf die Interpretation der hier kurz berichteten Untersuchungen ergeben sich eine Reihe von gravierenden Problemen:

- Die FVF wird mit unterschiedlichen Meßverfahren bzw. Verfahrensparametern erfaßt. Dies führt dazu, daß die Befunde zum Teil nicht vergleichbar sind. Hier sollten Standardvorgaben zur FVF-Messung entwickelt werden.
- Die funktionelle Bedeutung der FVF-Veränderungen ist unklar. Häufig wird ein FVF-Anstieg pauschal als generelle Verbesserung und ein FVF-Abfall als generelle Verschlechterung der psychophysischen Leistungsbereitschaft interpretiert. Es fehlt eine umfassende Theorie psychophysischer Aktivierungsprozesse bzw. -systeme sowie ihrer Wechselwirkungen untereinander und mit anderen Prozessen. So führen z. B. *Jendrusch, Voigt und de Marées* [6] vier verschiedene psychophysische

Konstrukte zur Erklärung von Aktivierungsprozessen ein, ohne die Beziehung zwischen diesen Konstrukten zu klären: Vigilanz, Ermüdung, Motivation und Belastung.

- In den Untersuchungen fehlen – bis auf wenige Ausnahmen – Kriteriumsbeanspruchungen, um die funktionelle Bedeutung der FVF-Veränderungen für Leisten, Lernen und Training einschätzen zu können. Nach den bereits von *Yerkes* und *Dodson* [21] gefundenen Ergebnissen dürfte das für die Aufgabenbewältigung optimale Aktivierungsniveau aufgabenspezifisch variieren [9, 12, 13]. Je schwieriger die Aufgabe ist, desto niedriger scheint das optimale Aktivierungsniveau zu liegen. FVF-Befunde, die sich diesem Problem widmen, werden relativ selten erhoben und ergeben kein einheitliches Bild.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die FVF ist ein multifaktorielles Phänomen. Flimmerperzeption vollzieht sich in einem mehrdimensionalen Raum mit zahlreichen Interaktionen. Personenspezifische Faktoren beeinflussen die FVF ebenso wie verfahrens- und stimulus-spezifische Faktoren.

Unabdingbare Voraussetzung für reliable und valide Messungen ist die sorgfältige Einhaltung der Meßbedingungen. Dies bezieht sich auf

- das eingesetzte Gerät sowie die Meßparameter,
- das eingesetzte Meßverfahren und die Verfahrensparameter und
- den Zustand des Probanden.

Ein Desiderat der Forschung ist die Klärung der funktionellen Bedeutung der gemessenen FVF-Dynamik für die Bewegungsregulation und das Bewegungslernen. Hier liegt ein noch weitgehend unbearbeitetes Forschungsfeld.

### Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. rer. medic. Josef Wiemeyer  
 Institut für Sportwissenschaft  
 Magdalenenstr. 27  
 64289 Darmstadt  
 e-mail: [wiemeyer@ifs.sport.tu-darmstadt.de](mailto:wiemeyer@ifs.sport.tu-darmstadt.de)

### Literatur

1. Büsch D: Sportmotorisches Lernen und Ausdauerbelastungen. Lang, Frankfurt/M. 1993
2. Görtelmeyer R, Zimmermann P: In: Ott H, Kranda K (eds): Flicker techniques in psychopharmacology. Beltz, Weinheim 1982, 23-38
3. Harig C, Olivier N, Daus R: In: Hirtz P, Nüske F (Hrsg): Bewegungskoordination und sportliche Leistung integrativ betrachtet. Czwalina, Hamburg 1997, 265-269
4. Hecht S, Verrijp CP: Intermittent stimulation by light: III. The relation between intensity and critical frequency for different retinal locations. *Journal of General Physiology* 1933; 17: 251-268
5. Hylkema BS: Fusion frequency with intermittent light under various circumstances. *Acta ophthalmologica* 1942; 20: 159-193
6. Jendrusch G, Voigt H-F, de Marées H: In: Dannemann F (Red): Volleyball innovativ. Czwalina, Ahrensburg 1992, 210-227
7. Kranda K, Hansen G: In: Olivier N, Büsch D, Daus R (Red): Zur Messung der FVF im Sport – Beiträge verschiedener Wissenschaftsdisziplinen zur Methode der FVF-Messung. Strauß, Köln 1990, 5-21
8. Mangold R, Raschka C: Psychophysiologische Streßreaktionen auf Würgegriffe im Judo. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 1999; 50: 145-151
9. Olivier N: Techniktraining unter konditioneller Belastung. Hofmann, Schorndorf 1996
10. Rockstroh B, Elbert T, Canavan A, Lutzenberger W, Birbaumer N: *Slow Cortical Potentials and Behaviour*. Urban & Schwarzenberg, Baltimore 1989 (2nd Edition)
11. Rothe M: Zur Abhängigkeit des zentralnervösen Aktivierungsniveaus von verschiedenen Aufwärmtrainingsinterventionen bei unterschiedlichen Aufwärmzeiteinheiten. Dissertation, DSHS, Köln 1993
12. Strang H: Effizienzregeln in der Aktivierungsforschung: Fakt oder Fiktion? *Sportpsychologie* 1992; 6 (4): 11-14
13. Walschburger P: Sport und Aktivierung. Ein überschätztes Konzept in der Sportpsychologie. *Sportpsychologie* 1992; 6 (4): 5-10
14. Wiemeyer J: Zentralnervöse Aktivierung und sportliche Leistung. Strauß, Köln 1990
15. Wiemeyer J, Büsch D: Zum aktuellen Forschungs- und Diskussionsstand der FVF-Messung in der Sportwissenschaft. *Leistungssport* 1992; 22 (4): 37-42
16. Wiemeyer J: In: Bartmus U, Heck H, Mester J, Schumann H, Tidow G (Hrsg): *Sinnes- und Neurophysiologie im Sport. Ansätze, Ergebnisse und Defizite*. Strauß, Köln 1996, 163-171
17. Wiemeyer J, Fromme A, Zipf KE: In: Olivier N, Büsch D, Daus R (Red): *Untersuchungen zur Flimmerverschmelzungsfrequenz*. Strauß, Köln 1991, 141-160
18. Wiemeyer J, Olivier N: In: Bernett P, Jeschke D (Hrsg): *Sport und Medizin. Pro und Contra*. 32. Deutscher Sportärzte-Kongreß München 1990. Zuckschwerdt, München 1991, 685-687
19. Wiemeyer J, Olivier N, Büsch D: In: Singer R (Hrsg): *Sportpsychologische Forschungsmethodik – Grundlagen, Probleme, Ansätze*. bps, Köln 1991, 173-178
20. Wiemeyer J, Zipf KE: In: Olivier N, Büsch D, Daus R (Red): *Zur Messung der FVF im Sport, Beiträge verschiedener Wissenschaftsdisziplinen zur Methode der FVF-Messung*. Strauß, Köln 1990, 119-140
21. Willimczik K, Daus R, Olivier N: In: Olivier N, Daus R (Hrsg): *Sportliche Bewegung und Motorik unter Belastung*. dvs, Clausthal-Zellerfeld 1991, 6-28
22. Yerkes RM, Dodson JD: The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-Formation. *Journal of Comparative Strength and Psychology* 1908; 18: 459-482