



**INTERDISZIPLINÄRES ZENTRUM FÜR
VERKEHRSWISSENSCHAFTEN AN DER
UNIVERSITÄT WÜRZBURG**

Center for Traffic Sciences

Prof. Dr. H.-P. Krüger
Psychologisches Institut der Universität Würzburg
Röntgenring 11, D, 97070 Würzburg

Telefon Germany – 931 31 2653 oder 312 612
Telefax Germany 931 – 312 616

Zweidimensionale Analyse zur Beurteilung des Verlaufs von Ermüdung

Heiko Tietze¹ und Volker Hargutt²

*Psychologisches Institut, Lehrstuhl III
Röntgenring 11
97070 Würzburg*

1. EINLEITUNG	2
2. METHODIK LIDSCHLAGMESSUNG	3
3. METHODIK EEG (ALPHAEREIGNISSE)	4
4. VERSUCHSBESCHREIBUNG	6
5. ERGEBNISSE	8
5.1. LIDSCHLAG	8
5.2. EEG	9
5.3. RELATION DER PHYSIOLOGISCHEN STADIEN ZU DEN VERHALTENSPARAMETERN.....	11
6. DISKUSSION	12
REFERENZEN.....	13

Kontakt:

¹ e-mail: tietze@psychologie.uni-wuerzburg.de

Tel: +49 (0) 931 – 312182

² e-mail: hargutt@psychologie.uni-wuerzburg.de

Tel: +49 (0) 931 – 312613

1. Einleitung

Müdigkeit ist eine seltene Unfallursache, führt jedoch regelhaft zu den schwersten Unfallfolgen. Der Prozess der Vigilanzminderung, über Müdigkeit bis hin zu beginnendem Einschlafen ist ein gut untersuchtes Phänomen bei Langzeitaufgaben, wie z.B. Radarbeobachtungen (Mackworth, 1948; Bakan, 1955). Methodische Schwierigkeiten entstehen dann, wenn der Verlauf dieser Prozesse untersucht und frühe Veränderungen detektiert werden sollen. Verhalten und Leistung sind dabei zumeist wenig sensitiv. So entstehen beim Autofahren erst sehr spät Leistungseinbußen, wohingegen schon viel früher ein hohes Gefährdungspotential in Form verringerter Reaktionsbereitschaft besteht. Ziel unserer Forschung ist es, Methoden zu entwickeln, die eine Einschätzung des Fahrerzustands ermöglichen.

Für die Messung des Zustandes sind physiologische Methoden prädestiniert. Aus der Schlafmedizin ist bekannt, dass der Übergang vom Wachsein zum Schlafstadium 1 mit deutlichen Veränderungen des EEGs einhergeht. So ist die Alphablokade weniger deutlich ausgeprägt, es kommt unter anderem zu sogenannter anteriorisierter Alphaaktivität. Zudem kann eine globale Zunahme von Alpha- und Thetaaktivität beobachtet werden (Fruhstorfer, Langanke et al. 1977, De Waard and Brookhuis 1991, Zschocke, 1995).

Zur Parametrisierung wird gewöhnlich eine Fouriertransformation durchgeführt, wobei anhand der mittleren spektralen Parameter eines Zeitabschnittes Aussagen über die Anteile der beteiligten Frequenzbereiche getroffen werden. Nachteilig an einem solchen Vorgehen ist allerdings, dass nur grobe Unterschiede erfasst werden können: deutliche Powerveränderungen treten erst in späten Stadien auf. Außerdem führt die Notwendigkeit einer hohen Frequenzauflösung zu einer geringen Zeitauflösung – diese ist jedoch notwendig, da angenommen werden muss, dass der Prozess einer Vigilanzminderung nicht linear verläuft, sondern kurzzeitige Leistungseinbußen entstehen, denen durch Anstrengung entgegengewirkt werden kann (reaktive Anspannungssteigerung: Düker, 1963).

Auch die Messung von Lidschlag hat sich als eine vielversprechende Methode erwiesen, um den Zustand einer Person innerhalb einer definierten Aufgabe vorherzusagen. Konsens herrscht über die gute Vorhersagegüte von Lidschlagparametern hinsichtlich später Stadien der Müdigkeit. Die Möglichkeiten, den Prozess der Ermüdung mittels Lidschlagverhalten feiner zu differenzieren, sind bisher nicht ausgeschöpft. Üblicherweise wird das Lidschlagverhalten lediglich durch einen Parameter – entweder Blinzelfrequenz oder die Lidschlussdauer – beschrieben. Torsvall & Akerstedt (1983) untersuchten z.B. 15 Zugführer während Tag- und Nachtschichten und konnten zeigen, dass nachts sowohl die Lidschlussdauer verlängert, als auch Alpha- und Theta-Power im EEG erhöht waren.

Während die Erfassung des Lidschlags auch für eine Anwendung im realen Verkehr interessant ist, stellt das EEG eine möglicherweise sensitivere Methode in Laboruntersuchungen bereit. Zu prüfen ist, ob die Verfahren durch eine mehrdimensionale Betrachtung sensitiver in früheren Stadien des Müdigkeitsprozesses (Vigilanzminderung) sind. Unsere Hypothese ist, dass das Lidschlagverhalten physiologisch von mindestens zwei Prozessen gesteuert wird, d.h. dass die Blinzelfrequenz und die Dauer einzelner Lidschläge gleichzeitig betrachtet werden müssen. Um eine vergleichbare Aussage auf Eventebene für das EEG zu erhalten, suchen wir Abschnitte hoher Alphaaktivität und bewerten die Zeitspanne bis zum Auftreten des nächsten Ereignisses (also die Häufigkeit in einem Zeitbereich) und die Dauer des Ereignisses.

2. Methodik Lidschlagmessung

Der Lidschluss wird nach induktivem Prinzip als Abstand zweier an den Lidern befestigter Spulen mit einer Abtastrate von 100 Hz erfasst (Abbildung 1). Aus den kontinuierlichen Daten werden die Blinks extrahiert und deren Beginn und Dauer, die Pause zwischen den Lidschlüssen und das Augenöffnungsniveau während der Pausen bestimmt.



Abbildung 1: Lidschlußaufnehmer

Abbildung 2 zeigt die aufgezeichneten Daten einer Versuchsperson. Es werden drei Abschnitte eines Versuches gezeigt, die zu Beginn, nach etwa einer Stunde und zu Ende des Versuches (etwa 1,5 Stunden) aus den kontinuierlichen Daten selektiert wurden. Da dieser Versuch um Mitternacht gestartet wurde, ist das Ende des Versuches durch eine hohe Müdigkeit gekennzeichnet.

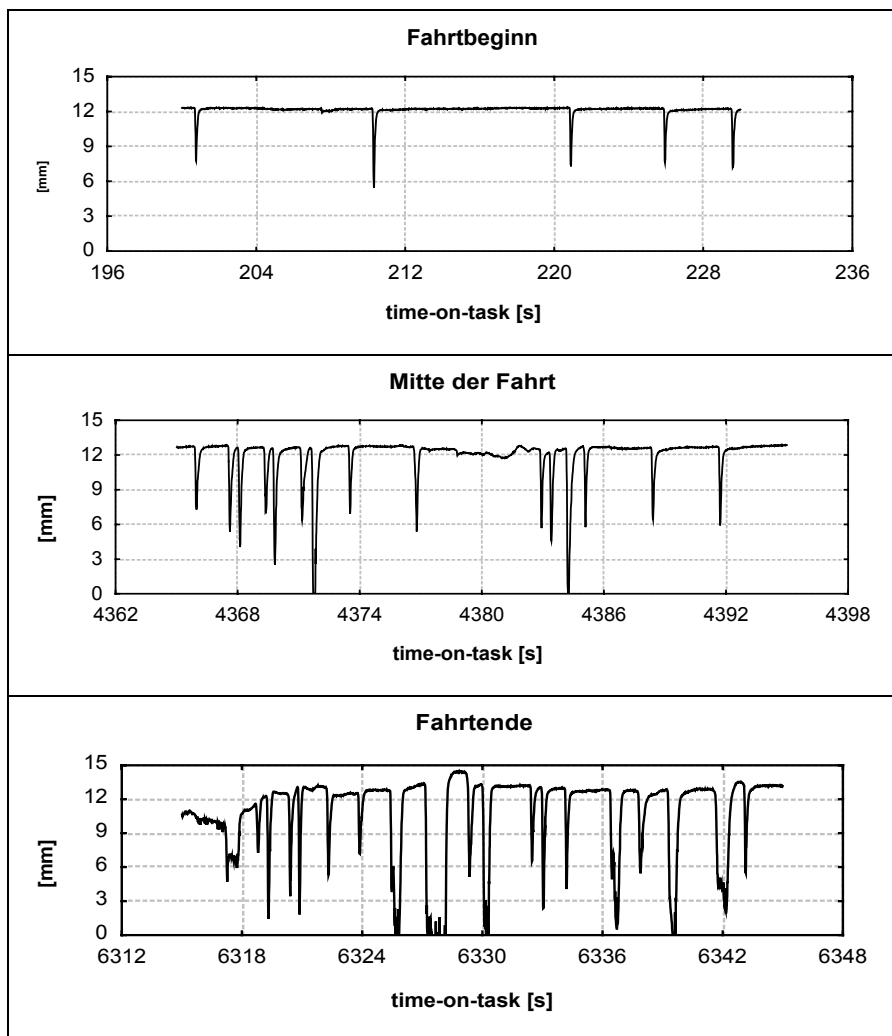


Abbildung 2: Beispiel des Rohsignals des Lidschlusses einer Versuchsperson zu verschiedenen Zeiten.

Die verschiedenen Stadien scheinen in unterschiedlichen Parametern repräsentiert zu sein: Zu Beginn treten nur wenige Blinzelereignisse auf, die zudem sehr kurze Dauern haben. Im weiteren Verlauf nimmt die Häufigkeit zu und in den späten Stadien verlängert sich die Dauer der Lidschlüsse, so dass nicht mehr von blinzeln, sondern eher von „zufallenden Augen“ im Sinne von Einschlafereignissen gesprochen werden muss.

Aus den Rohdaten ist weiterhin ersichtlich, dass die Blinzelhäufigkeit keinen unmittelbaren Bezug zur Dauer der Lidschlüsse hat und die Lidschlussdauer nicht unmittelbar mit der Amplitude korreliert ist.

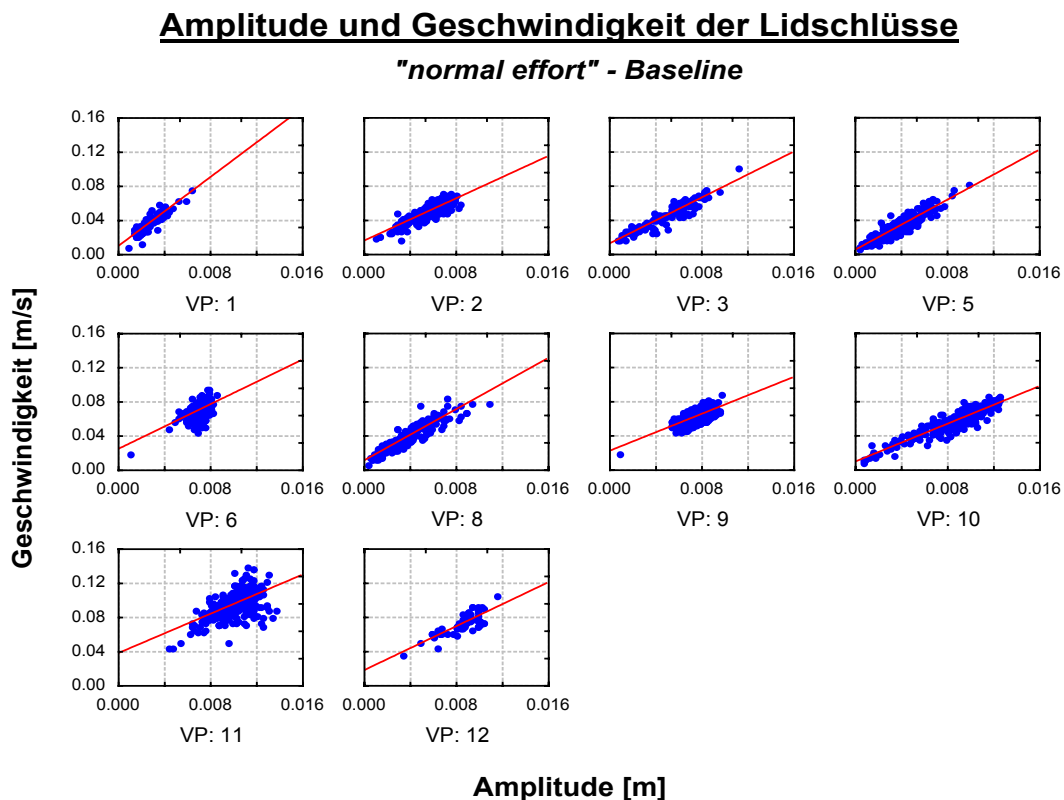


Abbildung 3: Korrelation zwischen Lidschlussamplitude und Lidschlussgeschwindigkeit.

Allerdings ist ein klarer Zusammenhang zwischen Lidschlussgeschwindigkeit und Lidschlussamplitude erkennbar (vgl. Abbildung 3). Je größer die ausgeführten Lidschlagbewegung, desto höher ist die Geschwindigkeit des Lidschlusses, d.h. die Zeit, während der aufgrund bedeckter Pupille keine Information aufgenommen werden kann, wird vom okulomotorischen System konstant gehalten.

Aus diesem Grund wird eine Lidschlussdauer als die Abweichung der empirisch vorliegenden Lidschlussdauer von der gewünschten (systemimmanenten) Lidschlussdauer bestimmt, die aus den in der Baseline tatsächlich erzielten Geschwindigkeiten berechnet wird. Auf diese Weise wird eine wechselseitige Korrektur der Lidschlussdauern und der Amplituden ermöglicht.

3. Methodik EEG (Alphaereignisse)

Leicht erkennbar kommt es im vigilanzgeminderten Spontan-EEG zu kurzzeitiger, meist spindelförmiger Zunahme der Amplitude im Alphaband (siehe Abbildung 4).

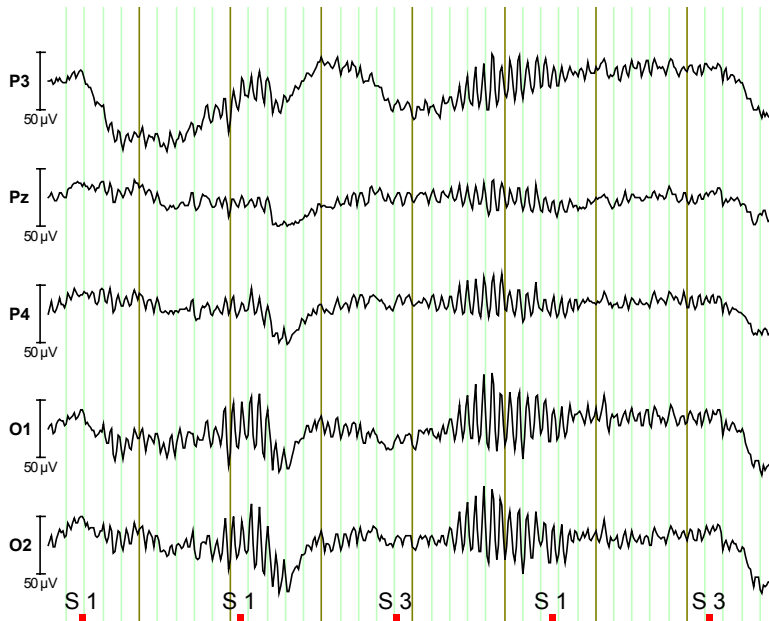


Abbildung 4: Beispiel eines Roh-EEGs. Acht Sekunden der Aktivität an den parieto-okzipitalen Elektroden sind abgebildet.

Unsere Methode bestimmt diese Alphaereignisse, indem das Rohsignal zuerst im Alphaband mittels einer Fast-Faltung (overlap-add Methode) gefiltert wird. Diese gefilterten Daten werden im weiteren anhand der absoluten Peakamplituden beurteilt. Es wird eine adaptive Amplitudenschwelle ermittelt und alle Peaks, deren Amplituden über dieser Schwelle liegen und in ihrer Abfolge eine bestimmte Mindestlänge aufweisen, werden in die statistische Analyse übernommen. Dabei können Zeitpunkt, Dauer und Pause zwischen den Ereignissen mit der Genauigkeit der Abtastrate ausgewertet werden.

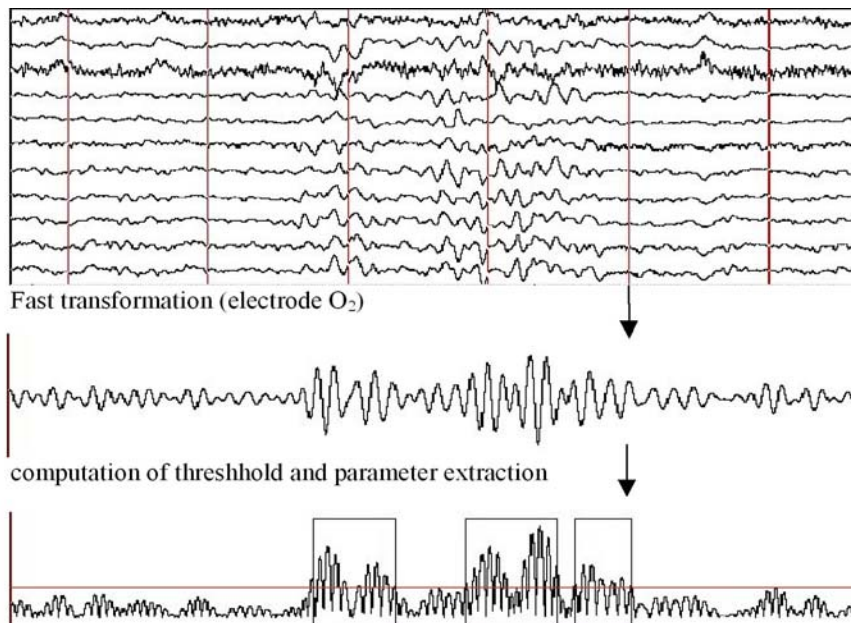


Abbildung 5: Prinzip der EEG Auswertung.

Wir vermuten, dass die Alphaereignisse eine Art Pause der Verarbeitung darstellen. Aus Ermüdungsgründen ist das System kurzfristig zu keiner selektiven Aufmerksamkeit mehr fähig. Zu beobachten sind diese Momente auch im kontinuierlichen Verlauf langandauernder

Experimente: ist die Darbietung bzw. Informationsverarbeitung in einem Interstimulusintervall nicht mehr notwendig, so tritt in diesen, meist kürzer als 1 s dauernden Phasen, hochamplitudige Alphaaktivität auf.

Die konventionelle Powerberechnung wurde mit dem Analyseprogramm BrainVision durchgeführt. Die Versuchsabschnitte wurden selektiert und in Analyseabschnitte von 2 s Dauer unterteilt. Diese Segmente wurden nach einer automatischen Artefaktkorrektur bei $98 \mu\text{V}$ und einer Fensterung nach dem Hannverfahren mittels der FFT in den Spektralbereich transformiert. Die spektralen Parameter des Abschnittes wurden gemittelt und in folgende Frequenzbereiche zusammengefasst:

- $3,5 \text{ Hz} \geq \text{theta } (\tau) \leq 7 \text{ Hz}$
- $7,5 \text{ Hz} \geq \text{alpha } (\alpha) \leq 12,5 \text{ Hz}$
- $13 \text{ Hz} \geq \text{beta } (\beta) \leq 18 \text{ Hz}$

Aus diesen Bändern wurde das häufig genutzte Energiemaß $\varepsilon = (\alpha + \beta) / \tau$ gebildet (De Waard & Brookhuis, 1991).

Das EEG wurde mit einem Twente Porti32/S Verstärker aufgezeichnet (Abtastrate: 200 Hz, Filter: 100 Hz, Zeitkonstante: 0,3 s). Als Software kam Brainstar 4.5 zum Einsatz. Da Vigilanzänderungen vermutlich keiner spezifischen Lokalisation unterliegen und Veränderungen der Alphapower hauptsächlich parieto-okzipital zu erwarten sind, werden lediglich 11 Elektroden nach dem 10/20 System befestigt: F₃, F_Z, F₄, C₃, C_Z, C₄, P₃, P_Z, P₄, O₁, O₂. Als Referenz wurden verbundene Mastoiden genutzt. Die Befestigung der Elektroden in relativ hoch aktiven Versuchen wie einer Fahrsimulation, ist etwas kritisch, weswegen wir die Elektroden mittels einer EasyCap-Haube fixierten.

Die hier vorgestellten Auswertungen beziehen sich alle auf die Elektrode O₂, an der die deutlichsten Veränderungen der Alphaaktivität auftreten sollten.

4. Versuchsbeschreibung

Zwölf Probanden (7 männlich, 5 weiblich, mittleres Alter 23 Jahre \pm 2,98) nahmen an der Fahrsimulatorstudie teil (gefördert von der BMW-AG). Alle Probanden hatten eine Mindestfahrerfahrung von 5000 km pro Jahr, keine visuellen oder akustischen Defizite und gaben an, aktuell keine Drogen oder Medikamente eingenommen zu haben. Sie wurden auch darauf hingewiesen, am Versuchstag keine stimulierenden Getränke zu konsumieren.



Abbildung 6: Versuchssetting: links die Fahrerkonsole, rechts die Szenerie.

Das Experiment wurde in einem statischen Fahr Simulator mit einem voll ausgestatteten Fahrzeugmodell durchgeführt. Die Szenerie wurde über einen Videobeamer präsentiert und füllte etwa 60° Sichtfeld aus. Um verschiedene Ermüdungszustände zu prüfen, hatten alle Probanden eine Fahrt vormittags (10:00-11:00), eine Fahrt nachmittags (16:00-17:00) und eine Nachtfahrt beginnend ab 0:00 bis zum Einschlafen (maximal jedoch bis 04:00) zu absolvieren.

Die zu fahrende Strecke wurde aus 7,2 km langen Abschnitten konstruiert. Drei dieser Abschnitte wurden in randomisierter Reihenfolge zu einem Versuchsblock zusammengefasst. Die Aufgabe für die Probanden war es, diese Strecke bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h zu befahren (die Einhaltung der Geschwindigkeit wurde über Kontrollleuchten im Blickfeld des Fahrers bei 10 % Toleranz signalisiert). Nach diesem etwa 30 min dauernden Abschnitt wurde eine der 7 km Strecken befahren, in der jetzt aber die Geschwindigkeitsbegrenzung aufgehoben wurde (für die Versuchsperson durch ein Verkehrsschild angekündigt) und die Versuchsperson die Aufgabe hatte, so schnell zu fahren, dass sie maximal beansprucht war. Der erste, geschwindigkeitsbegrenzte Abschnitt wird im folgenden Normalfahrt genannt, der nächste entsprechend Schnellfahrt. Primäre Instruktion in beiden Abschnitten war die Einhaltung der rechten Fahrspur.

Die Schnellfahrt wurde mit dem Gedanken eingeführt, eine systematische Variation der Vigilanz zu erreichen. Wir nehmen an, dass bei geringer Müdigkeit noch die Möglichkeit besteht Leistungsreserven zu aktivieren, wohingegen in späteren Stadien auch diese Abschnitte mit eingeschränkten Leistungen verbunden sind. Mit dieser sogenannten MinMax-Methode ist es möglich, zwischen time-on-task Effekten (funktionsgebundene, phasische Ermüdung) und Müdigkeit (tonische Erschöpfung) zu differenzieren.

Während des Fahrens hatten die Probanden zusätzlich eine akustische Nebenaufgabe zu bearbeiten. In regelmäßigen Abständen von 1,7 s wurde ein deutlich wahrnehmbarer Ton dargeboten. Kritisches Ereignis war das Ausbleiben dieses Tones, das mit 10 % Wahrscheinlichkeit eingeführt wurde. Die Probanden hatten dies mit dem Druck auf eine Taste am Lenkrad zu quittieren.

Um die notwendige Länge der Strecke zu realisieren, wurden die Normal- und Schnellfahrten bei randomisierten Abschnitten nacheinander befahren. Die Gesamtstrecke war homogen für die Versuchsperson.

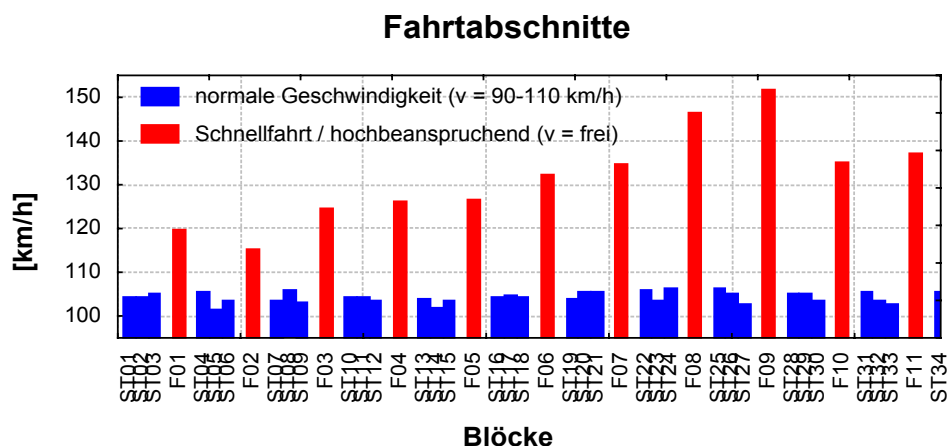


Abbildung 7: Beschreibung der zu fahrenden Strecke. Blaue Balken zeigen die Normalfahrten an, rote die Schnellfahrten. Abgetragen ist die gefahrene Geschwindigkeit einer Versuchsperson während der Nachtfahrt. Jeder Block hat eine Dauer von ungefähr 5 min.

Zur Beurteilung der Verhaltensdaten wurden zwei Parameter aus den aufgezeichneten Fahrdaten genutzt: die Standardabweichung der Querabweichung (SDLP) von der mittleren Fahrspur (vgl. Brookhuis & de Waard, 1993; Gillberg, Kecklund, & Akerstedt, 1996; van Laar, van Willigenburg, & Volkerts, 1995; Volkerts, van Laar, van Willigenburg, Plomp, & Maes, 1992) und die prozentuale Anzahl nicht erkannter Auslassungen bei der Nebenaufgabe (Missings).

5. Ergebnisse

5.1. Lidschlag

Die mittleren Werte der Lidschlussparameter wurden je Fahrtabschnitt entsprechend Abbildung 7 bestimmt. Abbildung 8 zeigt beispielhaft den Zusammenhang zwischen den Augenöffnungsdauern (1/Blinzelfrequenz) und den Lidschlussdauern (Differenz zur Baseline), wobei die Zeitintervalle je nach Tageszeit unterschiedlich markiert sind. Während die Augenöffnungsdauern lediglich tagsüber variieren, ist erst bei den Nachtfahrten unter Aufkommen starker Müdigkeit eine Variation der Lidschlussdauern zu beobachten.

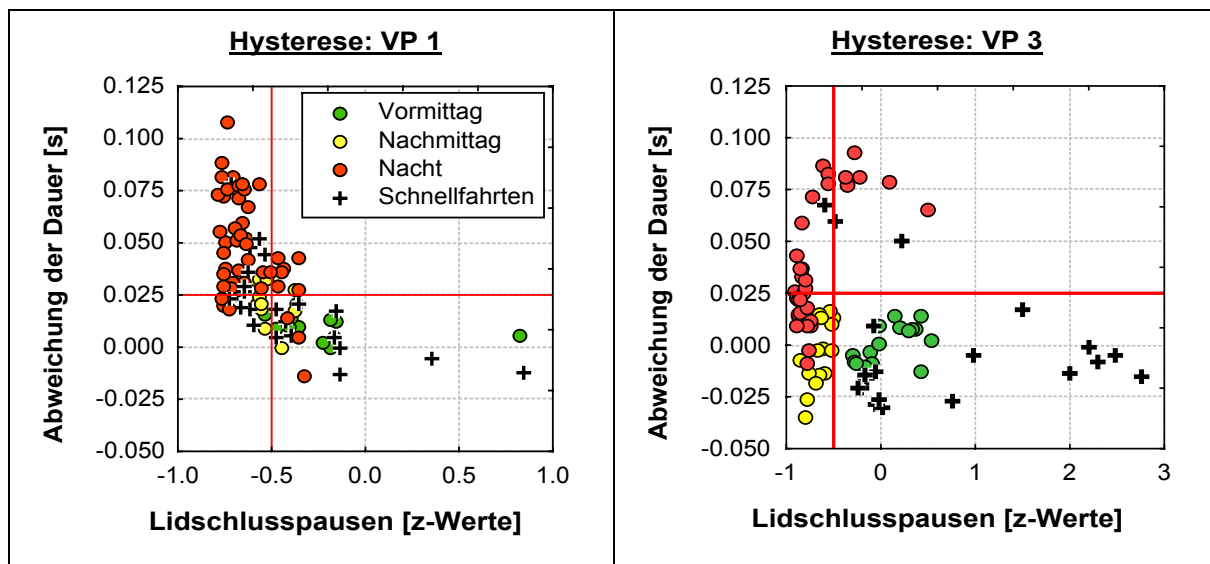


Abbildung 8: Beziehung zwischen den z-transformierten Pausen zwischen den Lidschlüssen und der normierten Lidschlussdauer.

Anscheinend kennzeichnen die Blinzelpausen Variationen der Vigilanz bei geringer Ermüdung, welche durch eine Verlängerung der Lidschlussdauer markiert ist. Eine deutliche Steigerung der Dauer tritt zudem auch erst nachts auf.

Aus diesen Zusammenhängen schlussfolgern wir die folgenden Stadien (in den Graphiken durch rote Linien markiert):

- wach: lange Pausen und kurze Dauern (unterer rechter Bereich)
- vigilanzgemindert: kurze Pausen (häufiges Auftreten) und kurze Dauer (unten links)
- ermüdet: Lange Lidschlussdauer
- schläfrig: Sehr lang geschlossene Augen (Einschlafereignisse).

Bevor die Ergebnisse dieser Unterteilung dargestellt werden, soll zunächst die entsprechende Einteilung in Stadien mit Hilfe des EEGs gezeigt werden.

5.2. EEG

Abbildung 9 zeigt die Parameter der Alphaereignisse im zeitlichen Verlauf an Hand einer repräsentativen Versuchsperson (VP 9, Nachtfahrt). Zu erkennen ist eine Zunahme der Dauern mit time-on-task und eine klare Abhängigkeit der Häufigkeit des Auftretens (Pausen zwischen den Ereignissen) von der Aufgabe. Während hoch beanspruchender Fahrten ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftretens hoher Alphawerte stark reduziert, d.h. die Pausendauer zwischen Alpha-Ereignisse ist dort kürzer.

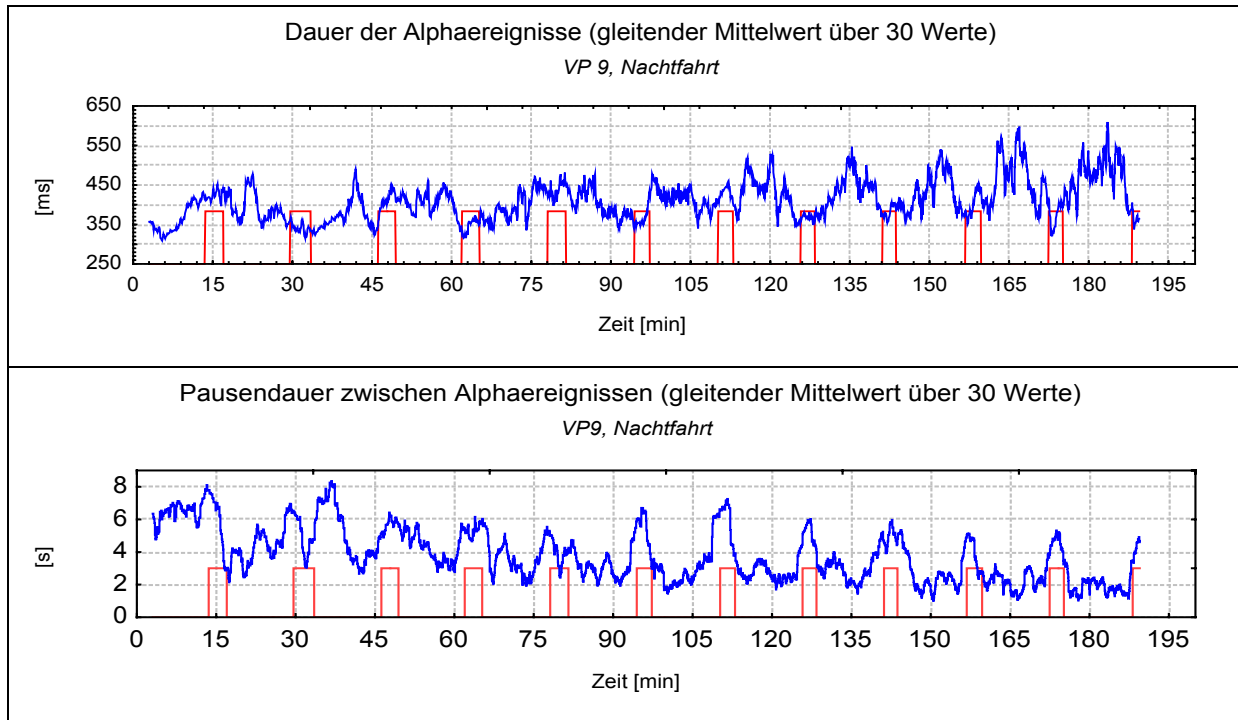


Abbildung 9: Verlauf der EEG Parameter: Dargestellt ist die Dauer der Alphaereignisse (oben) und die Pausen zwischen den Ereignissen. Die Daten wurden vorher einem Gleitmittel über 30 Werte unterzogen. Die roten Balken stellen den Zeitpunkt der Schnellfahrten dar.

Um die Abhängigkeit der beiden Parameter voneinander und in Bezug zu den Tageszeiten zu beschreiben, werden die Werte der einzelnen Probanden in einem Scatterplot gezeigt (Abbildung 10). Zu erkennen ist, dass die beiden Tagesfahrten durch eine geringe Dauer und eine hohe Variabilität der Pausen gekennzeichnet sind. Erst nachts nimmt die Dauer der Alphaereignisse erheblich zu. Für die Alphaereignisse kann daher wie beim Lidschlussverfahren ein zweidimensionaler Ansatz genutzt werden, wobei zur Einteilung der Median der Pausenzeiten (8 s) und eine Schwelle der Dauer von 320 ms eingesetzt wird. Dieser Wert wird plausibel bei Betrachtung der einzelnen Probanden auf der rechten Seite der Abbildung. Versuchsperson 6 absolvierte die Nachtfahrt ohne ersichtliche Beeinträchtigungen, wohingegen Nr. 2 nach längere Zeit kurz vor dem Einschlafen stand. Die Trennung der Ereignisdauer bei 320 ms markiert diesen Unterschied recht gut.

Wir vermuten, dass dieser Wert mit einer sehr basalen Komponente in Verbindung steht: wird die Informationsverarbeitung für eine längere Zeit unterbrochen, so ist keine stabile interne Repräsentation der Umwelt mehr gewährleistet und der gesamte Informationsgehalt muss neu aufgebaut werden. Bei kürzeren Unterbrechungen wird lediglich der interne Puffer aufgefrischt, was wahrscheinlich einen viel geringeren Zeit- und Prozessaufwand zur Folge hat (Sperling, 1960). Allerdings sollte der hier genutzte Wert von 320 ms nur als eine vorläufige Annäherung angesehen werden und bedarf weiterer Prüfung.

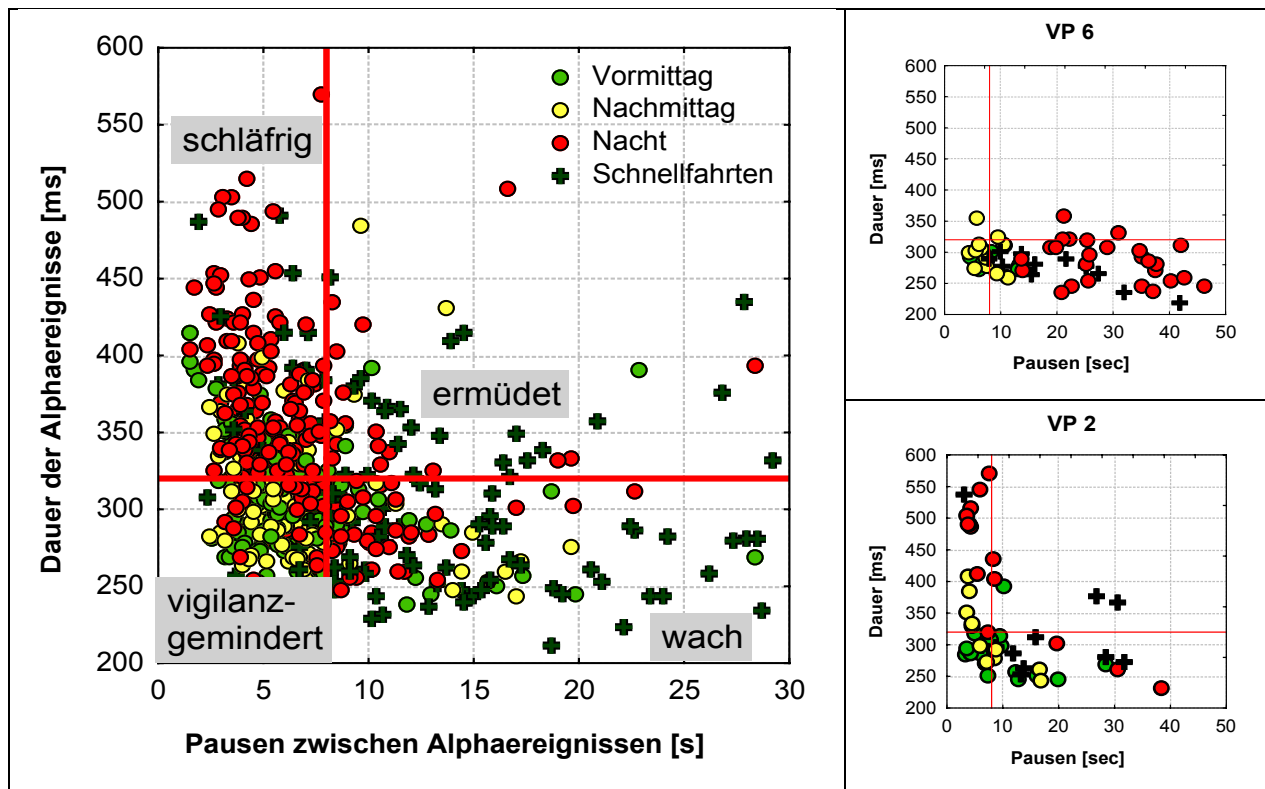


Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Dauer und Auftretenswahrscheinlichkeit der Alphaereignisse. Grüne Punkte stellen die Vormittagsfahrt dar, gelbe die Nachmittags- und rote die Nachtfahrt. Die schwarzen Kreuze kennzeichnen die Schnellfahrten unabhängig von der Tageszeit. Links sind alle Versuchspersonen enthalten, im rechten Teil sind zwei exemplarische VPn dargestellt.

Die Klassifikation der Alphaereignisse erfolgt in

- wach (seltene, kurze Ereignisse),
- vigilanzgemindert (kurze Dauer, kurze Pausen),
- ermüdet (kurze Dauer, lange Pausen) und
- schläfrig (lange Dauer, häufiges Auftreten).

Um die konventionellen Powerwerte vergleichbar unterteilen zu können, wurden die Daten in das erwähnte Energiemaß $\varepsilon = (\alpha + \beta) / \tau$ übertragen und diese Werte pro Versuchsperson und Fahrt standardisiert.

Für eine vergleichbare Klassifikation wurden diese z-Werte folgendermaßen unterteilt:

- wach $z \leq -1$,
- vigilanzgemindert: $-1 < z \leq 0$,
- ermüdet: $0 < z \leq 1$ und
- schläfrig: $z > 1$.

5.3. Relation der physiologischen Stadien zu den Verhaltensparametern

Pro Müdigkeitsstadium der jeweiligen physiologischen Parameter wurde sowohl die Missing Rate in der akustischen Vigilanzuhr als auch die Spurhaltegröße in der Fahraufgabe berechnet. Dargestellt werden ausschließlich die Normalfahrten.

Die Ergebnisse der Lidschlussparameter sind der Abbildung 11 dargestellt – auf der linken Seite in Abhängigkeit der Spurhaltungsgüte, rechts im Zusammenhang zu der Leistung in der Nebenaufgabe – alle Boxplotdarstellungen erfolgen über die mittleren Werte der Versuchspersonen; die Boxen werden bei einfachem Standardfehler gezeichnet, die Whisker kennzeichnen den 1.96fachen Standardfehler.

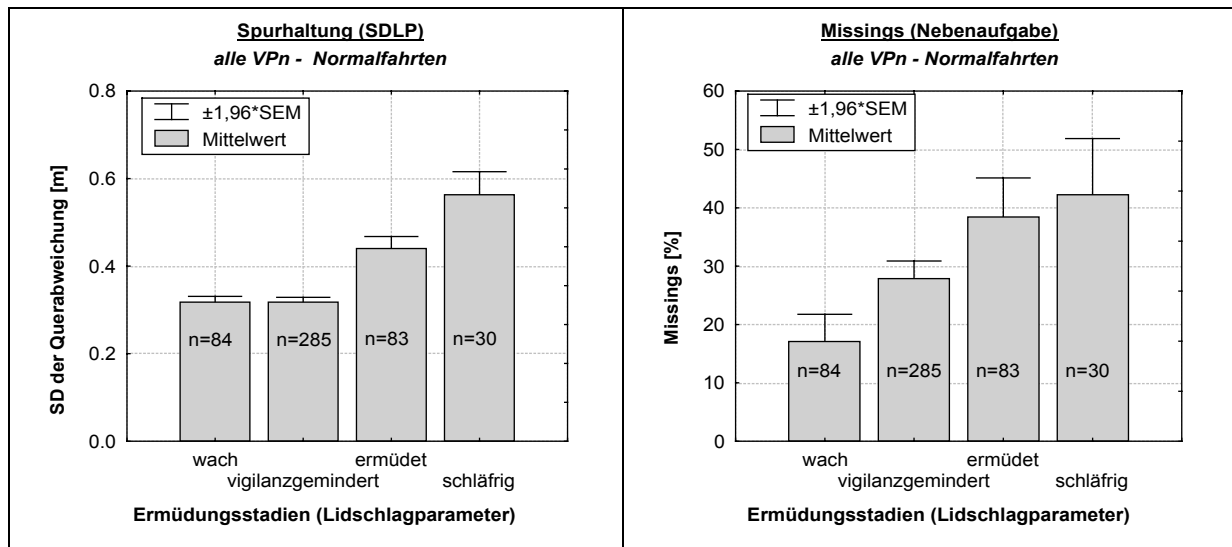


Abbildung 11: Mittlere Spurhaltegrößen und Prozent Missings in der Nebenaufgabe während der aus den Lidschlussdaten bestimmten Stadien.

Die Leistung in der Spurhaltung wird erst in den Stadien „ermüdet“ und „schläfrig“ schlecht. Diese beiden Stadien zeichnen sich vor allem durch lange Lidschlussdauern bis hin zu Einschlafereignissen aus. Die Vigilanzleistung hingegen verschlechtert sich bereits vom Stadium „wach“ hin zu „vigilanzgemindert“ und ist nur durch eine unterschiedliche Blinzelfrequenz bei kurzen Lidschlussdauern unterschieden. Dieses Ergebnis ist insofern bedeutend, da die normale Spurhaltung auf einer Landstrasse ein hochautomatisiertes Verhalten darstellt, das erst bei großen Leistungsdefiziten einbricht, während die Vigilanzleistung der Nebenaufgabe für frühe Aufmerksamkeitseinbußen sensitiv ist und damit erfahrungsgemäß vor der Spurhalteleistung abnimmt.

Abbildung 12 zeigt die gleichen Daten, jedoch klassifiziert über das EEG. Im oberen Teil sind die Stadien der Alphaereignisse dargestellt, unten das Energiemaß aus der konventionellen Powerberechnung.

Eine dem Lidschlag vergleichbare Relation entsteht: je weniger vigilant der Zustand eingestuft wurde, desto schlechter ist die Fahrleistung. Im letzten Stadium ist eine starke Beeinträchtigung der Fahrleistung zu konstatieren. Auch die Leistung in der Nebenaufgabe wird entsprechend abgebildet.

Bei der Klassifikation über die Alphaspower ist keine so deutliche Trennung vorhanden und ein signifikanter Unterschied wird nur zwischen den Extrema „wach“ und „schläfrig“ gefunden.

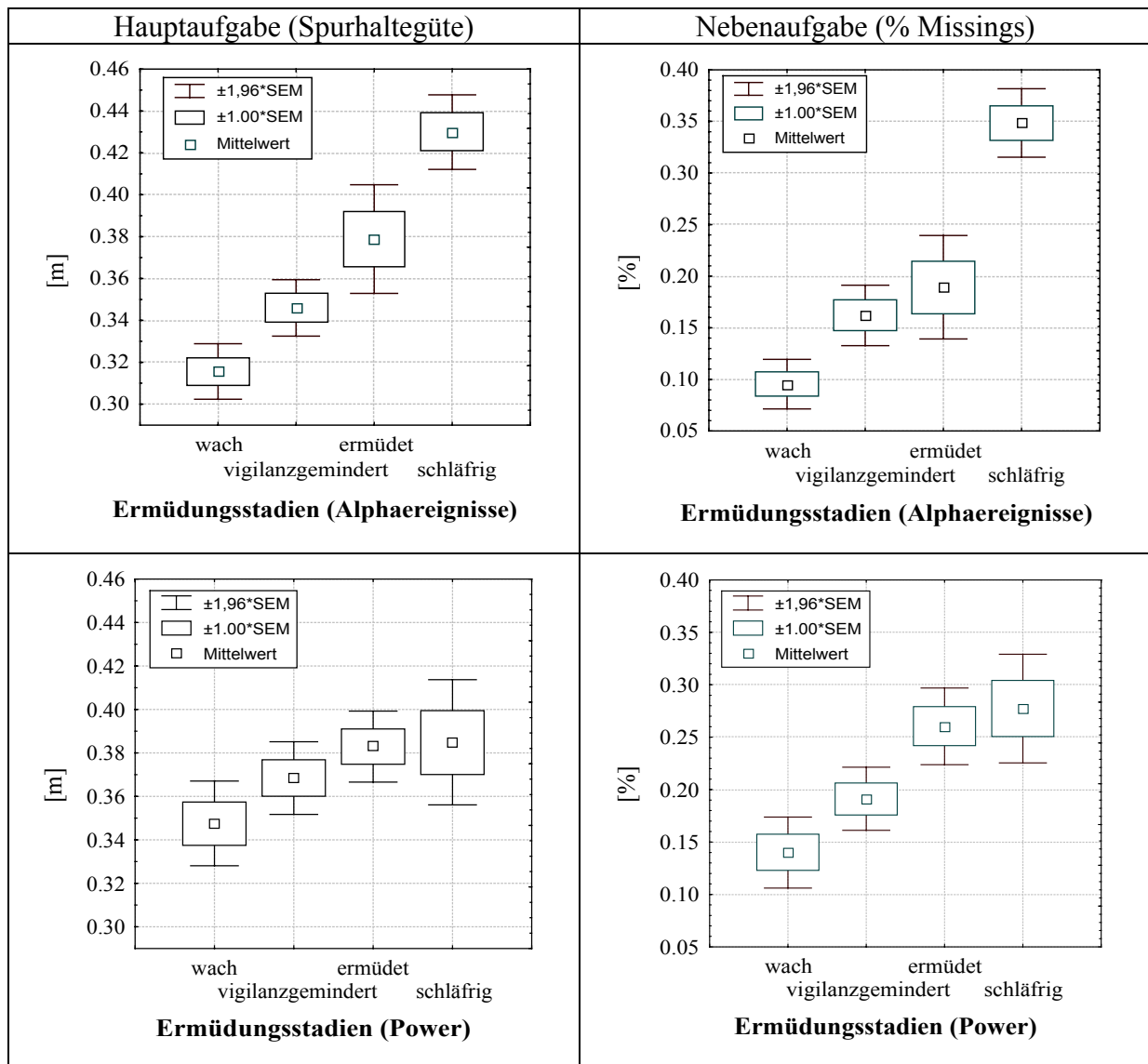


Abbildung 12: Mittlere Spurhaltegüte und Prozent Missings in der Nebenaufgabe während der aus dem EEG bestimmten Stadien.

6. Diskussion

Die Unterscheidung verschiedener Müdigkeitsstadien (vor allem Aufmerksamkeitsdefizite vs. starke Müdigkeit) ist vornehmlich bei der Entwicklung von Gegenmaßnahmen gegen Müdigkeit am Steuer wichtig: Während Müdigkeit ausschließlich durch Erholung zu beseitigen ist, sind Leistungseinbußen aufgrund Vigilanzminderung meist durch eine Änderung der Aufgabencharakteristik entgegenzuwirken.

In einer Fahrsimulationsstudie zeigte sich, dass je müder die Probanden wurden, desto häufiger und langsamer geblinzelt wurde. In gleichem Maße nahm auch die Güte des Fahrens ab. Vergleichbare Stadien konnten aus den EEG Daten extrahiert werden. Es zeigte sich, dass mit dem spektralen Maß lediglich zwischen den Extrema wach und schläfrig unterschieden werden kann, wohingegen die Alphaereignisse eine deutliche Trennung aller Stadien erlauben.

Im Zeitverlauf kann mit einer zweidimensionalen Methodik gezeigt werden, dass eine Vigilanzminderung sehr früh einsetzt. Dabei ist gerade die Unterscheidung zwischen

„vigilanzgemindert“ und „ermüdet“ bedeutsam, um geeignete Gegenmaßnahmen oder Warnungen einleiten zu können.

Wenn man dem Gedanken folgt, dass sich Ermüdung in kurzfristigen Ereignissen zeigt, d.h. man gegen die Beeinträchtigungen in der Leistung ankämpfen kann, dann ist es wenig erstaunlich, dass globale Maße in diesem Versuchsaufbau versagen. Ermüdung ist kein monoton verlaufender Prozess, sondern großen Schwankungen unterworfen. Um eine valide Aussage über einen Zeitbereich zu treffen, ist deswegen eine Charakterisierung der Einzelereignisse (Alphaereignisse, Lidschläge) notwendig. Lange Unterbrechungen von Wahrnehmung und Informationsverarbeitung sind von solchen Ruhepausen zu unterscheiden, die zwar häufig auftreten (und damit in der Gesamtdauer vergleichbar sind), aber eine kurze Dauer der Einzelereignisse aufweisen.

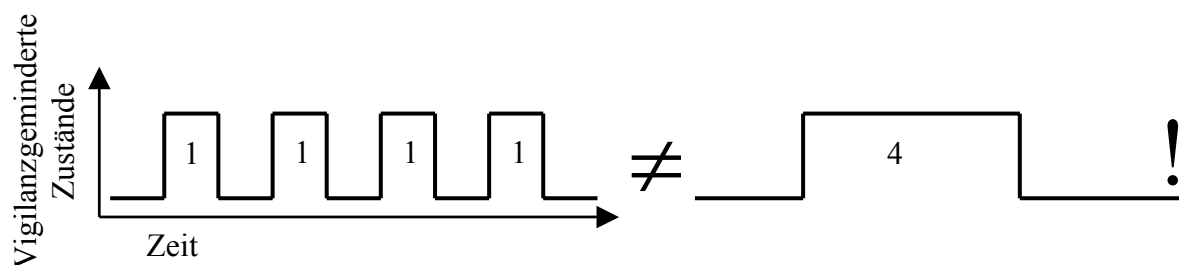


Abbildung 13: Die Betrachtung einzelner Ereignisse liefert ein anderes Ergebnis als die Analyse des Zeitbereiches. Dabei zeigten sich diese Aussagen als sensitiver in der Beurteilung der Ermüdung.

Sowohl die Erfassung des Lidschlags als auch die Bestimmung der Alphaereignisse lieferten sinnvolle Ergebnisse. Dabei zeigten die Verfahren ein unterschiedliches Verhalten. Die Prüfung des Zusammenhangs beider Parameter war nicht Gegenstand dieser Untersuchung, sollte aber in Zukunft untersucht werden. Weiterhin ist die postulierte Grenze einer konsistenten Wahrnehmung der Umwelt, d.h. ein stabiles internes Abbild, die hier mit 320 ms eingesetzt wurde, nachzuweisen.

Referenzen

- Bakan, P. (1955). Discrimination decrement as a function of time in a prolonged vigil. *Journal of Experimental Psychology*, Experimental-Psychology.
- Brookhuis, K. A., & de Waard, D. (1993). The use of psychophysiology to assess driver status. *Ergonomics*, 36(9), 1099-110.
- De Waard, D., & Brookhuis, K. A. (1991). Assessing driver status: A demonstration experiment on the road. *Accident Analysis and Prevention*, and-Prevention.
- Düker, H. (1963). Über reaktive Anspannungssteigerung. *Zeitschrift für experimentelle Psychologie*.
- Fruhstorfer, H., Langanke, P., Meinzer, K., Peter, J. H., & Pfaff, U. (1977). Neurophysiological vigilance indicators and operational analysis of a train vigilance monitoring device: A laboratory and field study. In R. R. Mackie (Ed.), *Vigilance - Theory, Operational Performance, and Physiological Correlates* (Vol. 3, pp. 147-162). New York, London: Plenum Press.
- Gillberg, M., Kecklund, G., & Akerstedt, T. (1996). Sleepiness and performance of professional drivers in a truck simulator- -comparisons between day and night driving. *J Sleep Res*, 5(1), 12-5.
- Mackworth, N. H. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search, *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (Vol. 1, pp. 6-21).
- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs: General and Applied*, 74(11), 1-28.
- Torsvall, L., & Akerstedt, T. (1983). Sleepiness during day and night work; a field study of train drivers. *Sleep Res*, 12, 376.

- van Laar, M. W., van Willigenburg, A. P. P., & Volkerts, E. R. (1995). Acute and subchronic effects of nefazodone and imipramine on highway driving, cognitive functions, and daytime sleepiness in healthy adult and elderly subjects. *Journal of Clinical Psychopharmacology*, *15*(1), 30-40.
- Volkerts, E. R., van Laar, M. W., van Willigenburg, A. P. P., Plomp, T. A., & Maes, R. A. A. (1992). A Comparative Study of On-the-road and Simulated Driving Performance after Nocturnal Treatment with Lormetazepam 1 mg and Oxazepam 50 mg. *Human Psychopharmacology*, *7*, 297-309.
- Zschocke, S. (1995). *Klinische Elektroenzephalographie*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.