Prävention einschlafbedingter Verkehrsunfälle mit Pupillographie

Barbara Wilhelm

Schläfrigkeit am Steuer ist eine zunehmend erkannte Gefahrenquelle. Dem tragen auch jüngste Änderungen der Anlagen 4 und 5 der Fahrerlaubnis-Verordnung Rechnung. Wie ist Schläfrigkeit überhaupt definiert? Wie lässt sie sich messen? Die meisten der in Frage kommenden Verfahren sind entweder sehr zeitaufwändig und/oder nicht objektiv durchführbar. Ausschließlich subjektive Ansätze reichen nicht aus, gerade wenn es um die Fahrtüchtigkeit oder die Fahrerlaubnis geht. Aus diesem Dilemma wird der dringende Bedarf eines objektiven Schläfrigkeitstests zur Beantwortung solcher Fragen deutlich. Der Pupillographische Schläfrigkeitstest (PST) ist seit 10 Jahren in der Schlafforschung und mittlerweile auch in der Arbeitsmedizin erprobt und hat sich als einfaches, praktikables Verfahren bewährt. Das Pupillenverhalten gibt objektive Auskunft über den aktuellen Wachheitsgrad. In den letzten Jahren wurden in Deutschland vermehrt Autobahn-Messaktionen auf freiwilliger Basis durchgeführt, aus denen die ernst zu nehmende Dimension des Problems Fahrerschläfrigkeit überdeutlich wird. Die größte Untersuchung mit dem PST bei LKW-Verkehrskontrollen wurde kürzlich in Österreich abgeschlossen. Sie ergab bei 1 180 Untersuchten einen Anteil extrem schläfriger Fahrer von 22 %. In Österreich wird derzeit die gesetzliche Verankerung des PST vorbereitet. Auch in Deutschland könnte das Verfahren durch Anwendungen bei Untersuchungen nach den Anlagen 4 und 5 der FeV oder G25 wichtige Beiträge zur Prävention schläfrigkeitsbedingter Unfälle leisten.

1 Schläfrigkeit als Unfallrisiko

Mindestens 25 % aller schweren Autobahnunfälle werden durch Sekundenschlaf verursacht [2]. Will man dies ändern, benötigt man Kenntnisse über die quantitative Bedeutung der Einschlafgefährdung im Straßenverkehr. Alkohol und Drogen als Gefahrenquelle im Straßenverkehr und Arbeitsleben sind im öffentlichen Bewusstsein etabliert und oftmals Gegenstand von Aufklärungskampagnen. Ganz anders ist die Situation bezüglich der Problematik von Schläfrigkeit am Steuer. Tatsächlich aber ist Tagesschläfrigkeit eine häufige Ursache von Unfällen im Straßenverkehr. Bei einer Befragung von LKW-Fahrern berichteten 43 %, in den letzten 12 Monaten während der Fahrtätigkeit eingenickt zu sein. Tatsächlich aber betrifft das Problem in gleicher Weise den nicht professionellen Verkehrsteilnehmer. Eine weite Urlaubsfahrt mit dem eigenen PKW kann Tagesschläfrigkeit ebenso induzieren wie lange Lenkzeiten beim Berufsfahrer. Grundsätzlich tritt Schläfrigkeit sowohl bei den meisten unbehandelten Patienten mit chronischen Schlafstörungen wie auch bei Gesunden unter bestimmten Alltagsbedingungen [1, 2] auf. Weit verbreitet ist die gefährliche Bagatellisierung von Schläfrigkeit am Steuer und eine Unterschätzung des Gefahrenpotentials durch die Betroffenen. Fahrer bemerken zwar dass sie müde sind, aber nicht wie müde bzw. einschlafgefährdet sie tatsächlich sind. Vergleicht man relative Risiken für Verkehrsunfälle bei bestimmten Erkrankungen, zeigt sich, dass ein eingeschränktes Sehvermögen das Risiko lediglich auf den Faktor 1,09 erhöht, Alkoholismus dagegen auf 2,0 und Schlafapnoe bzw. Narkolepsie auf 3,71 (www.immortal.or.at; Truls Vraa).

Die Automobilindustrie widmet seit Jahren dem Problem zahlreiche Forschungsansätze zur Detektion von schläfrigkeitstypischem Verhalten während der Fahrt, jedoch sind bislang nur wenige technische Lösungen zur Serienreife gekommen. Diese werden auch in der Zukunft das Problem ungenügender Verbreitung in sich bergen. In einigen Bundesländern werden Versuche gemacht, durch präparierte Fahrbahnränder für Warngeräusche zu sorgen, die den Fahrer alarmieren, wenn die Reifen den Fahrbahnrand

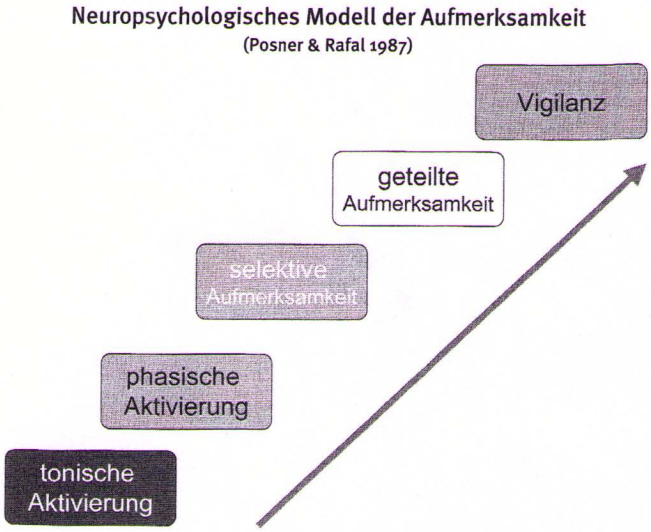

Bild 1. Aufmerksamkeitsmodell nach Posner und Rafal. Der Pupillographische Schläfrigkeitstest erfasst die tonische zentralnervöse Aktivierung

tangieren. Auch bezüglich solcher Maßnahmen ist eine flächendeckende Versorgung nicht in Sicht. Bisher stand für Schläfrigkeitserkennung bei Verkehrsteilnehmern im Rahmen von Screening-Untersuchungen sowie für Verkehrskontrollen noch kein praktikables objektives Verfahren zur Verfügung.

2 Aufmerksamkeit – ein mehrdimensionales Modell

Die Arbeitsgruppe Vigilanz der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin hat in mehreren Publikationen Aufmerksamkeitsbezogene Defizite und Begriffe definiert sowie geeignete Testverfahren zur Erfassung verschiedener Aspekte hinsichtlich ihrer Gütekriterien untersucht (z. B. [3]). Demnach prüfen physiologische Verfahren wie der Multiple Schlaflatenztest (MSLT), der Multiple Wachbleibetest (MWT) und der Pupillographische Schläfrigkeitstest (PST) das Basisniveau der Aufmerksamkeitsebenen, die tonische zentralnervöse Aktivierung (*Bild 1*), welche Voraussetzung für höhere Aufmerksamkeitsleistungen (z. B. selektive oder geteilte Aufmerksamkeit) bildet. Die testtheoretischen Gütekriterien des PST wurden im Vergleich zu alternativen Verfahren günstig bewertet. Während andere Verfahren zeit- und personalaufwändig sind und dadurch an stationäre Gegebenheiten gebunden bleiben, lässt sich der PST auch außerhalb des Labors oder der Klinik unter Feldbedingungen durchführen [5, 6]. Dabei müssen klassische Standardbedingungen des Tests (wie z. B. Koffein- und Nikotinkarenz sowie Geräuschabschirmung) zwangsläufig verlassen werden; dennoch zeigte sich bei den bisherigen arbeits- und verkehrsmedizinischen Anwendungen die Robustheit der Messresultate gegenüber solchen Paradigmenwechseln.

3 Pupillographie zur Messung der zentralnervösen Aktivierung

Die Pupillenweite wird ausschließlich vom autonomen Nervensystem reguliert. Daraus ergibt sich die besondere Möglichkeit, vegetative Funktionen und Zustände objektiv zu erfassen und zu analysieren. Aus diesem Grund ist die Anwendung der Pupillographie durchaus nicht auf die Augenheilkunde begrenzt, sondern häufig in verschiedenen Gebieten der Psychologie zu finden. Lowenstein und Löwenfeld beschrieben erstmals das typische Phänomen, um welches es beim PST geht. Wird ein Proband müde, so beginnen seine Pupillen langsam zu schwingen, d. h. sie verengen sich und erweitern sich langsam (Frequenz < 1 Hz) und deutlich sichtbar (*Bild 2*). Die zuvor genannten

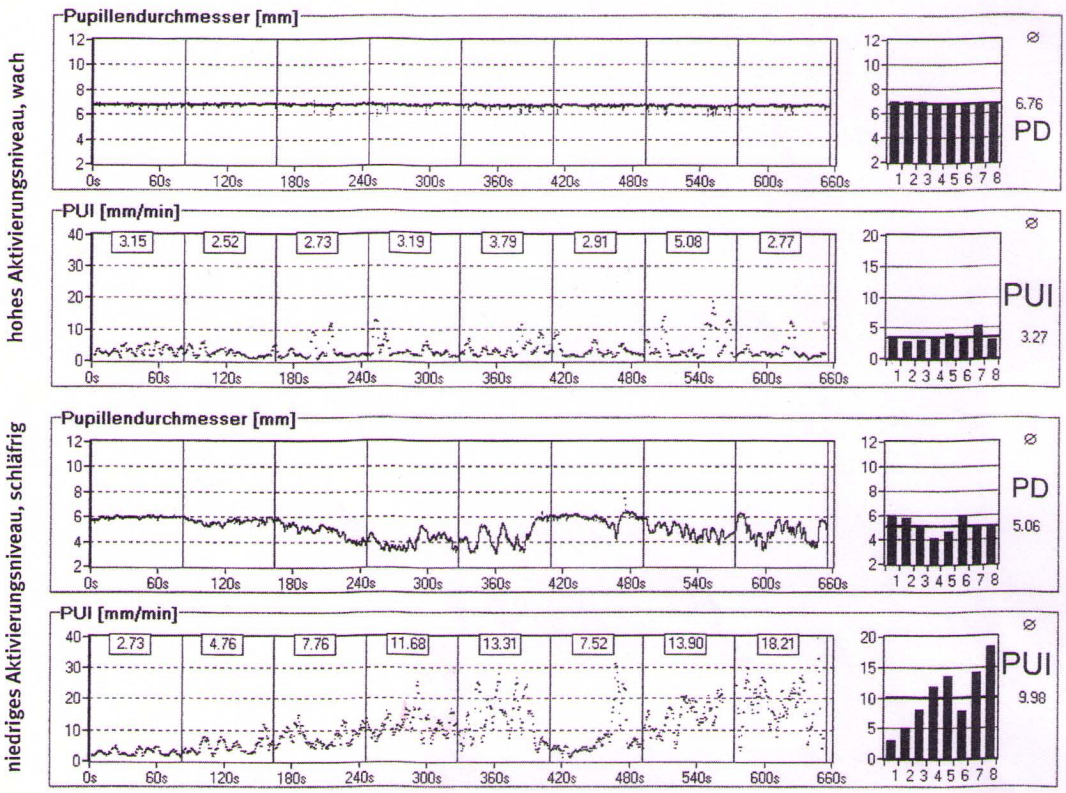

Bild 2. Typische Pupillogramme für eine wache (oben) bzw. schläfrige (unten) Person

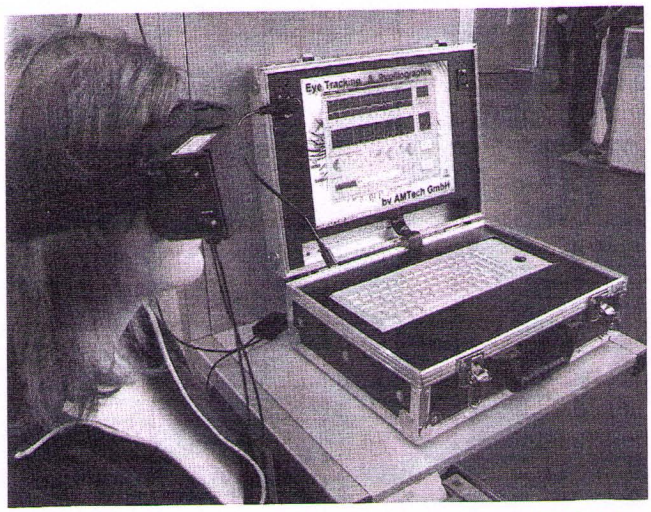

Bild 3. Mobile Messeinheit des Pupillographischen Schläfrigkeitstests

Schwingungen treten in Dunkelheit auf und wurden von Lowenstein "fatigue waves" genannt. Heute sprechen wir von Schläfrigkeitswellen, um der geltenden Differenzierung zwischen Müdigkeit (Fatigue) und Schläfrigkeit Rechnung zu tragen.

Beim Pupillographischen Schläfrigkeitstest wird der Pupillendurchmesser für die Dauer von 11 Minuten in Dunkelheit aufgezeichnet. Im Mittelpunkt der Messung steht ein Algorithmus, welcher den Pupillendurchmesser auch bei tief stehendem oder herabsinkendem Oberlid verlässlich berechnet [7]. Das Bestimmungsverfahren wurde von der Arbeitsgruppe Pupillenforschung der Universitäts-Augenklinik Tübingen entwickelt, mit öffentlichen Mitteln gefördert und vom Universitäts-Klinikum patentiert (DPA 5402 P137); Lizenznehmer ist seit 1997 die Firma AMTech in Weinheim. Für die Aufzeichnung der Pupillenweite kommt das Prinzip der Infrarot-Video-Pupillographie mit einer Messfrequenz von 25 Hz und einer räumlichen Auflösung von 0,05 mm zur Anwendung. In mehreren Schritten wurden Auswerteparameter definiert, welche die Messkurve und deren Veränderungen mit wechselnder zentralnervöser Aktivierung beschreiben. Hierzu dienen vor allem zwei Parameter: das Amplitudenspektrum ≤ 0,8 Hz und der Pupillen-Unruhe-Index (PUI), welche automatisch ermittelt werden [7]. Die Werte des PUI steigen mit zunehmender Schläfrigkeit an (*Bild 2*).

Lange Zeit konnte das Problem Schläfrigkeit im Straßenverkehr nicht nachhaltig angegangen werden, da keine praktikable Messmethode für die Anwendung im ruhenden Straßenverkehr – wie z. B. im Rahmen von Verkehrskontrollen – zur Verfügung stand. Mit dem Pupillographischen Schläfrigkeitstest (PST, AMTech, Dossenheim) steht ein physiologisches, objektives Verfahren zur Erfassung und Quantifizierung von Tagesschläfrigkeit zur Verfügung, das auch für den Einsatz von Feldstudien geeignet ist [3, 4]. Dies gilt insbesondere für die mobile Version des Verfahrens (Fit for Duty, F^2D, *Bild 3*).

Vorteilhaft sind die langjährige klinische Anwendungserfahrung in der Schlafmedizin und Schlafforschung sowie eine umfangreiche Datenbasis, auch über Zusammenhänge mit Leistungstests und subjektiven Werten.

Die Anwendung des PST ist nicht für Messungen während der Steuertätigkeit konzipiert, sie zielt vielmehr auf fahrzeugunabhängige Anwendungen in Fahrpausen. An Beispielen und Ergebnissen jüngster verkehrsmedizinischer Feldstudien mit dem PST soll das Problem der Tagesschläfrigkeit aufgezeigt, seine Hintergründe analysiert sowie Lösungsmöglichkeiten diskutiert werden.

4 Methodik

4.1 Rekrutierung und Ablauf

Bei den beschriebenen Autobahnaktionen wurden die Messungen und Befragungen auf freiwilliger Basis durchgeführt. Die Daten wurden pseudonomisiert gespeichert; Name und Geburtsdatum der Teilnehmer wurden nicht erfasst. Verkehrsteilnehmer wurden an Autobahnraststätten über die Gefahren von Schläfrigkeit aufgeklärt und zu wirksamer Vorbeugung und Gegenmaßnahmen beraten. Zu diesem Zweck wurden Handzettel verteilt und Poster angebracht. In vielen Fällen informierten Rundfunk und Fernsehen die Öffentlichkeit im Vorfeld und während des Aktionstages. In Wissenschafts- und Boulevard-Magazinen wurde intensiv über die Messungen Bericht erstattet.

Eine Aktion fand beispielsweise während des Sommerferien-Beginns in Baden-Württemberg und Bayern unter reger Medienbeteiligung an der Raststätte Leipheim (A8) statt. Dabei wurden tagsüber Verkehrsteilnehmer für freiwillige Messungen rekrutiert und mit mehreren PST-Geräten untersucht, Angaben zum Nachtschlaf und zum Fahrverhalten wurden anonym erfasst. Die Fahrer wurden in Abhängigkeit vom Messergebnis beraten. Die Bereitschaft und das Interesse der Verkehrsteilnehmer zur Teilnahme an der Aktion waren gut.

4.2 PST-Messung

In sitzender Haltung werden spontane Änderungen der Pupillenweite in Dunkelheit (11 Min.) mit Infrarot-Video-Pupillographie aufgezeichnet. Die Probanden tragen im abgedunkelten Messraum eine Spezialbrille zum Ausschluss von lichtinduzierten Artefakten. Während der Messung darf nicht gesprochen werden. Die Probanden werden aufgefordert, entspannt in die Richtung eines Fixationslichts auf der Kameraöffnung zu schauen. Anhand der bekannten Normwerte für Männer und Frauen im Alter von 20 bis 60 Jahren [4] werden die PST-Ergebnisse wie folgt klassifiziert.

4.3 Datenmanagement und statistische Analyse

Die Daten wurden von DatInf GmbH Tübingen zusammengeführt und ausgewertet.

Tabelle 1. Einteilung des Pupillenunruhe-Index (PUI), basierend auf Normwertstudien [4]

Kategorie	PUI – Messwert-Bereich
Unauffällig	≤ MW + 1 SD
Auffällig	MW + 1 SD bis MW + 2 SD
Pathologisch	> MW + 2 SD

MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung

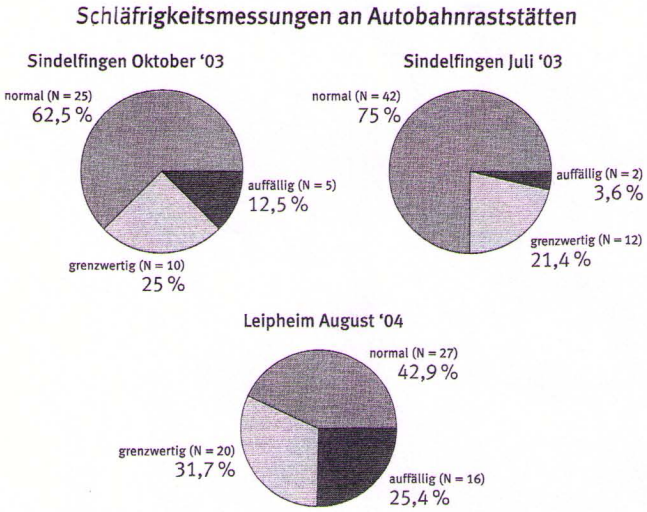

Bild 4. Ergebnisse aus drei verschiedenen Autobahn-Messaktionen bei Verkehrsteilnehmern auf freiwilliger Basis

5 Ergebnisse

Insgesamt beteiligten sich 63 Verkehrsteilnehmer an den Messungen. Die Messergebnisse zeigten lediglich bei 43 % der Autofahrer einen normalen Wachheitsgrad. Dagegen war in 25 % der Fälle auffällige Schläfrigkeit zu finden, 32 % der Messwerte lagen im grenzwertigen Bereich.

Die Studienergebnisse wurden gemeinsam mit Messdaten von zwei Autobahnaktionen in Baden-Württemberg aus dem Jahr 2003 ausgewertet (*Bild 4*). Insgesamt wurden in 59 % der Fälle normale, in 26 % grenzwertige und in 15 % der Verkehrsteilnehmer auffallend schläfrige Messwerte gefunden. In allen drei Studien betrug die zurückgelegte Fahrstrecke lediglich durchschnittlich ca. 100 km. Die Fahrer zeigten sich angesichts schläfriger Messwerte und entsprechender Warnungen als begrenzt einsichtig. Bei auffälliger Schläfrigkeit wurde vor allem eine Schlafpause von etwa 15 Minuten empfohlen. Die dafür zur Verfügung gestellten Motelräume nahm allerdings keiner der einschlafgefährdeten Fahrer in Anspruch.

6 Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen Übereinstimmungen mit vorangegangen vergleichbaren Aktionen an der Raststätte Gräfenhausen (A5). Die dort gemessenen LKW-Fahrer zeigten bei einer Frühjahrsaktion einen wesentlich höheren Anteil auffälliger Schläfrigkeit als die PKW-Fahrer. Bei einer Untersuchung in Gräfenhausen während des Sommer-Reiseverkehrs fielen hingegen vor allem Urlaubsfahrer und Schichtarbeiter mit hohen Schläfrigkeitswerten auf [5, 6], von diesen hatten die meisten noch Fahrtstrecken von weniger als 100 km bis 400 km vor sich.

Bei verkehrsmedizinischen Anwendungen des PST stützt man sich auf langjährige Erfahrungen und wissenschaftliche Absicherung des Tests in der Schlafforschung und Schlafmedizin [7]. Die Möglichkeiten der PST-Anwendung für die Prävention schläfrigkeitsbedingter Unfälle umfassen folgende Gebiete:

1. Screening auf erhöhte Tagesschläfrigkeit durch bestimmte Erkrankungen im Rahmen FeV-Anlagen 4, 5 und G25
2. Detektion akuter Schläfrigkeit unabhängig von deren Ursache bei Verkehrskontrollen.

Ein dritter möglicher und wichtiger Bereich wäre der Nachweis nach einem Unfallereignis, dass der Unfall durch Schläfrigkeit verursacht wurde. Dies bedarf einer genauen wissenschaftlichern Prüfung.

Zu 1: Detektion von auffälliger Tagesschläfrigkeit bei Erkrankungen

Der Pupillographische Schläfrigkeitstest ist ein geeignetes Verfahren zur Voruntersuchung auf vorliegende Tagesschläfrigkeit gemäß FeV Anlagen 4, 5 oder G25. In diesem Zusammenhang sind subjektive Fragebögen und Skalen nur begrenzt verlässlich und eine Ergänzung durch ein einfaches physiologisches Verfahren besonders wünschenswert. Die Untersuchungen nach Anlage 5 berücksichtigen bis dato den Aspekt der zentralnervösen Aktivierung, welche die Voraussetzung für höhere Aufmerksamkeitsebenen darstellt, noch nicht. Dies stellt aus schlafmedizinischer Sicht ein Defizit dar. Auch geeignete Methoden zur Prüfung der Aufmerksamkeitsebenen als Hilfestellung für den Untersucher sind noch vom Gesetzgeber zu definieren. Der PST erfasst [3] die zentralnervöse Aktivierung objektiv und ist als einziger der hierfür in Frage kommenden Tests für die oben genannten Anwendungsfelder praktikabel.

Zu 2: Verkehrskontrollen – Detektion von Tagesschläfrigkeit bei Fahrern unabhängig vom Gesundheitszustand

Die Hauptgefahren von Schläfrigkeit am Steuer bestehen in der Selbstüberschätzung der Fahrer bzw. der Unterschätzung des eigenen Einschlafrisikos. Erschwerend hinzu kommt die bekannte Tatsache, dass Mikroschlaf-Ereignisse (Sekundenschlaf) sich der Selbstwahrnehmung entziehen. Mit dem PST bzw. einer mobilen Messeinheit des gleichen Verfahrens (F^2D, AMTech, Dossenheim; *Bild 3*) kann Tagesschläfrigkeit bei Messungen in Fahrpausen fahrzeugunabhängig, einfach und mit geringem Zeitaufwand objektiv erfasst werden. Damit besteht die Möglichkeit sowohl zur Aufklärung und gesundheitsbewusstem Verhalten sowie zur Unfallprävention.

In Oberösterreich wendet die Polizei seit Sommer 2005 den F^2D-Pupillentest im Rahmen von Verkehrskontrollen bei LKW-Fahrern an und fand dabei in 22 % der Fälle exzessive Tagesschläfrigkeit. In Deutschland ist eine solche praktische Anwendung zur Prävention einschlafbedingter Unfälle noch nicht vorgesehen, allerdings gibt es erste Pilotversuche. Die Intervention besteht in erster Linie in einer Schlafpause, da Kurzschlaf (10–20 Min.) nachweislich die Fahrtauglichkeit für die folgenden 2–3 Stunden wiederherstellt.

Danksagung

Die Messaktion in Leipheim sowie die hier vorgestellten Gesamtanalysen wurden unterstützt vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Referat 742 Arbeitsmedizin, Arbeitssicherheitsorganisation, München

Literatur

[1] Findley, L., Unverzagt, M., Surrat, P., (1988): Automobil accidents involving patients with obstructive sleep apnea. American Review of Respiratory Disorders, 138, 337–340

[2] Zulley, J., Crönlein, T., Hell, W., Langwieder, K., (1995): Einschlafen am Steuer: Hauptursache schwerer Verkehrsunfälle. Wien, Med. Wochenschr. 145, 473

[3] Weeß, H-G., Sauter, C., Geisler, P., Böhning, W., Wilhelm, B., Rotte, M., Gresele, C., Schneider, C., Schulz, H., L. und R., Steinberg, R. und Arbeitsgruppe Vigilanz der DGSM (2000): Vigilanz, Einschlafneigung, Daueraufmerksamkeit, Müdigkeit, Schläfrigkeit – Diagnostische Instrumentarien zur Messung müdigkeits- und schläfrigkeitsbezogener Prozesse und deren Gütekriterien. Somnologie 4, 20–38

[4] Wilhelm, B., Körner, A., Heldmaier, K., Moll, K., Wilhelm, H., Lüdtke, H. (2001): Normwerte des pupillographischen Schläfrigkeitstests für Frauen und Männer zwischen 20 und 60 Jahren. Somnologie 5, 115–120

[5] Weeß, H-G., Binder, R., Schürmann, T., Wilhelm, B., Lüdtke, H., Grellner, W. und Steinberg, R. (2003): Anteil erhöhter Schläfrigkeitswerte bei Kraftfahrern und deren Ursachen: Ergebnisse zweier Feldstudien. Somnologie 7 (Suppl. 1), 9/88, S. 46

[6] Wilhelm, B., Weeß, H-G. und Binder, R. (2003): Objektive Erfassung von Tagesschläfrigkeit bei deutschen Autofahrern. Arbeitsmedizin-Sozialmedizin-Unfallmedizin ASU 38, 3

[7] Wilhelm, B. (2007): Über die Spontanoszillationen der Pupille und ihre Beziehung zum zentralnervösen Aktivierungsniveau, Steinbeis-Edition Stuttgart/Berlin ISBN 978-3-938062-34-0