

Aus der Universitätsklinik Tübingen
Abteilung Augenheilkunde II
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. E. Zrenner

Fahrerschläfrigkeit
gemessen mit dem Pupillographischen
Schläfrigkeitstest an süddeutschen Autobahn-
Raststätten

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
Der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
der Eberhard-Karls-Universität
Zu Tübingen

Vorgelegt von
CAROLINE BRIGITTE WEIL DE VEGA, geb. WEIL
aus Freiburg

2007

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Privatdozentin Dr. B. Wilhelm

2. Berichterstatter: Professor Dr. G. Lorenz

*Für meinen Mann Steve und
Meine Tochter Alba*

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	9
1. Einleitung.....	11
1.1. Die Pupille.....	11
1.1.1 Definition	11
1.1.2 Aufgaben der Pupille	11
1.1.3 Pupillenmotorik.....	11
1.1.4 Regelkreis der Pupillenlichtreaktion	12
1.1.5 Steuerung der Nahreaktion	13
1.1.6 Zentrale Hemmung.....	13
1.1.7 Pupillenoszillationen.....	13
1.1.7.1 Lichtinduzierte Pupillenoszillationen	13
1.1.7.2 Vigilanzabhängige Pupillenoszillationen oder "Schläfrigkeitsswellen"	13
1.2 Pupillographie zur Untersuchung von Schläfrigkeit – Stand des Wissens	16
1.3 Schläfrigkeit im Straßenverkehr.....	19
1.3.1 Entwicklung von Verkehrsunfällen.....	19
1.3.2 Anforderungen an den Autofahrer	20
1.3.3 Schlafapnoe-Syndrom und Fahrtauglichkeit.....	20
1.3.4 Unfälle infolge erhöhter Tagesschläfrigkeit	21
1.4 Objektive Erfassung zur Beurteilung des Problems und als Voraussetzung erforderlicher Konsequenzen	22
1.5 Ziele der objektiven Müdigkeitserfassung an Autobahnen.....	22
2. Methoden	24
2.1 Rekrutierung der Probanden.....	24
2.2 Zeitrahmen und Temperaturbedingungen.....	24
2.3 Ablauf und Untersuchungsmethoden.....	24
2.4 Beschreibung Pupillographischer Schläfrigkeitstest	25
2.4.1 Messaufbau und Messsituation	25
2.4.2 Messalgorithmus	27
2.4.3 Datenanalyse, Artefaktbereinigung und Fast-Fourier-.....	28

Transformation (FFT)	28
2.4.4 Pupillenunruheindex (PUI)	28
2.4.5 Rahmenbedingungen	29
2.5 Vorgehen bei auffälligen Befunden	30
2.6 Stanford Schläfrigkeitsskala (SSS)	32
2.7 Datenanalyse und Ergebnisdarstellung	33
3. Ergebnisse	34
3.1 Ergebnisse Sindelfingen - Juli 2003.....	34
3.1.1 Einteilung der Schläfrigkeit nach PUI	34
3.1.2 Mittelwerte von InPUI und PUI	35
3.1.3 Subjektive Schläfrigkeitsskala (SSS).....	35
3.1.4 Fahrzeugtyp	36
3.1.5 Gefahrene Strecke	36
3.1.6 Wachzeit vor der Messung.....	37
3.1.7 Dauer des Nachtschlafs in Stunden	38
3.1.8 Koffein-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn	39
3.1.9 Nikotin-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn.....	39
3.1.10 Zusammenhang subjektiver und objektiver Schläfrigkeit.....	40
3.1.11 Abhängigkeit des InPUI von der Fahrtstrecke	40
3.1.12 Abhängigkeit des InPUI von der Wachzeit	41
3.1.13 Abhängigkeit des InPUI vom Nachtschlaf.....	42
3.1.14 Abhängigkeit des InPUI von der Koffeinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn	43
3.1.15 Abhängigkeit des InPUI von der Nikotinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn	44
3.2. Ergebnisse Sindelfingen - Oktober 2003	46
3.2.1 Einteilung der Schläfrigkeit nach PUI	46
3.2.2 Mittelwert von InPUI und PUI	46
3.2.3 Subjektive Schläfrigkeit (SSS).....	47
3.2.4 Fahrzeugtyp	48
3.2.5 Gefahrene Strecke	48
3.2.6 Wachzeit vor der Messung.....	49

3.2.7 Dauer des Nachtschlafs in Stunden	50
3.2.8 Koffein-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn	51
3.2.9 Nikotin-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn.....	51
3.2.10 Zusammenhang von subjektiver und objektiver Schläfrigkeit.....	51
3.2.11 Abhängigkeit des InPUI von der Fahrtstrecke	52
3.2.12 Abhängigkeit des InPUI von der Wachzeit	53
3.2.13 Abhängigkeit des InPUI vom Nachtschlaf.....	54
3.2.14 Abhängigkeit des InPUI von der Koffeinaufnahme in den letzten 4 h vor Messbeginn	55
3.2.15 Abhängigkeit des InPUI von der Nikotinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn	56
3.3 Ergebnisse Leipheim – August 2004	58
3.3.1 Einteilung der Schläfrigkeit nach PUI	58
3.3.2 Mittelwert von InPUI und PUI	58
3.3.3 Subjektive Schläfrigkeitsskala (SSS).....	59
3.3.4 Fahrzeugtyp	60
3.3.5 Gefahren Strecke	60
3.3.6 Wachzeit vor der Messung.....	61
3.3.7 Dauer des Nachtschlafs in Stunden	62
3.3.8 Koffein-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn	63
3.3.9 Nikotin-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn.....	63
3.3.10 Zusammenhang von subjektiver und objektiver Schläfrigkeit.....	64
3.3.11 Abhängigkeit des InPUI von der Fahrtstrecke	64
3.3.12 Abhängigkeit des InPUI von der Wachzeit	65
3.3.13 Abhängigkeit des InPUI vom Nachtschlaf.....	66
3.3.14 Abhängigkeit des InPUI von der Koffeinaufnahme in den letzten 4 h vor Messbeginn	67
3.3.15 Abhängigkeit des InPUI von der Nikotinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn	68
3.4 Ergebnisse - alle Studien	70
3.4.1 Einteilung der Schläfrigkeit nach PUI	70
3.4.2 Mittelwerte von InPUI und PUI	70

3.4.3 Der PUI in den verschiedenen Studien	71
3.4.4 Subjektive Schläfrigkeitsskala (SSS).....	72
3.4.5 Fahrzeugtyp	73
3.4.6 Gefahrene Strecke	73
3.4.7 Wachzeit vor der Messung	74
3.4.8 Dauer des Nachtschlafs in Stunden	75
3.4.9 Koffein-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn	76
3.4.10 Nikotin-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn.....	76
3.4.11 Zusammenhang von subjektiver und objektiver Schläfrigkeit.....	77
3.4.12 Abhängigkeit des InPUI von der Fahrtstrecke	77
3.4.13 Abhängigkeit des InPUI von der Wachzeit	78
3.4.14 Abhängigkeit des InPUI vom Nachtschlaf.....	79
3.4.15 Abhängigkeit des InPUI von der Koffeinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn	80
3.4.16 Abhängigkeit des InPUI von der Nikotinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn	81
4. Diskussion	83
4.1 Selektion der Probanden	83
4.2 Ergebnisse der Außentemperatur	84
4.3 Gefahrene Strecke.....	84
4.4 Effekte von Nachtschlafdauer und Wachzeit	84
4.5 Koffein- und Nikotineffekte.....	85
4.6 Zusammenhänge subjektiv empfundener und objektiv messbarer Schläfrigkeit	85
4.7 Unterschiede zwischen den Studien.....	86
4.8 Empfehlungen bei schläfrigen Messwerten und Konsequenzen der Fahrer	86
4.9 Schlussfolgerungen	87
5. Kurzfassung	88
6. Literaturverzeichnis	90
Danksagung	96
Lebenslauf.....	97

Abkürzungsverzeichnis

A	Autobahn
Abb.	Abbildung
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
bzw.	beziehungsweise
ca	zirka
cm	Zentimeter
Dipl.	Diplom
dl	Deziliter
Dr.	Doktor
FFT	Fast-Fourier-Transformation
g	Gramm
GABA	Gamma-aminobutyric acid
geb.	geborene
h	Stunde
Hz	Hertz
Ing.	Ingenieur
km	Kilometer
LH	Leipheim
LKW	Lastkraftwagen
M.	Musculus
mg	Milligramm
min	Minute
mm	Millimeter

med.	Medizin
MSLT	Multipler Schlaflatenztest
nCPAP	nasal Continuous Positive Airway Pressure
PD	Privatdozent
Phys.	Physiker
PKW	Personenkraftwagen
PST	Pupillographischer Schläfrigkeitstest
Prof.	Professor
PUI	Pupillen-Unruhe-Index
s	Sekunde
SF	Sindelfingen
SSS	Stanford-Schläfrigkeitsskala
StMUGV	Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz
UKT	Universitätsklinikum Tübingen
USA	Unitet States of America
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung

1.1. Die Pupille

1.1.1 Definition

Die Pupille ist das runde, dunkel erscheinende "Sehloch" in der Regenbogenhaut. Von den Irismuskeln wird sie nach physiologischem Bedürfnis in ihrer Größe verändert bei Schwankungen zwischen 1,5 bis 10 mm im Durchmesser.

1.1.2 Aufgaben der Pupille

Die wesentliche Aufgabe der Pupille ist die Begrenzung des Lichteinfalls zum Schutz der Netzhaut (welche zur Lichtadaptation viel länger braucht; Minutenbereich). Sie fungiert also als Blende. Eine weitere Funktion der Pupille ist die Konstriktion bei Naheinstellung zusammen mit Akkommodation, und Konvergenz. Nun hat die Pupille noch die ganz besondere Fähigkeit, durch ihre Größe oder die Schwankungen ihrer Größe bestimmte innere Regungen (Gefühle, Emotionen) auszudrücken. So führen zum Beispiel Freude, Angst, Schreck und Schmerz zur Erweiterung der Pupille.

1.1.3 Pupillenmotorik

Um die Pupille in ihrer Größe zu verändern, sind Muskeln notwendig.

In der Iris liegt der Musculus sphincter pupillae, der aus nicht pigmentierten glatten Muskelzellen besteht. Dieser Muskel wird parasympathisch vom Nervus oculomotorius nach Umschaltung im Ganglion ciliare innerviert. Nahe dem Margo ciliaris befinden sich radiärstrahlig auf die Pupille zu orientierte Faserbündel des pigmentierten Musculus dilatator pupillae, welcher sympathisch vom Ganglion cervicale superius innerviert wird.

1.1.4 Regelkreis der Pupillenlichtreaktion

Die Summe des in beide Augen einfallenden Lichts wird über den Nervus opticus, das Chiasma opticum und Corpus geniculatum laterale der Area praetectalis im Mittelhirn gemeldet. Die praetectalen Kerngebiete senden Afferenzen zu beiden parasymphatischen Anteilen des Okulomotoriuskerns. Von dort aus verlaufen die vegetativen, parasymphatischen Fasern des 3. Hirnnerven unter Umschaltung im Ganglion ciliare zum Pupillensphinkter (s. Abb. 1). Acetylcholin ist Überträgerstoff.

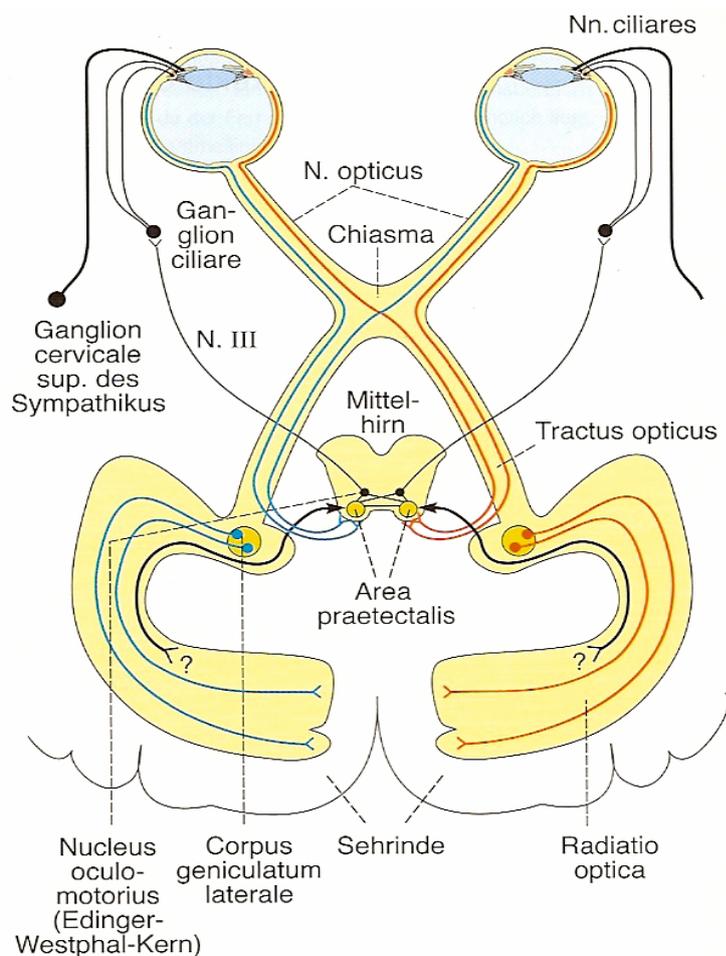


Abbildung 1: Pupillenregelkreis (Deetjen, Speckmann S. 90)

1.1.5 Steuerung der Nahreaktion

Die Nahreaktion, auch Konvergenzreaktion genannt, wird von der Sehrinde über den Okulomotoriuskern ausgelöst. Wenn es also im dorsalen Mittelhirn zu Läsionen kommt, kann die Pupillenreaktion ausfallen, während die Nahreaktion erhalten bleibt ("Lichtnahdissoziation" z.B. beim Perinaud-Syndrom).

1.1.6 Zentrale Hemmung

Der zentrale Sympathikus hemmt die parasympathischen Anteile im Okulomotoriuskomplex auf zwei derzeit bekannten Bahnen. Eine Bahn kommt von noradrenergen Neuronen des Locus coeruleus (Kerne in der Formatio reticularis), eine andere über GABAerge Fasern des Hypothalamus. Diese hemmen die Edinger-Westphal-Kerne und somit den M. sphincter pupillae (Szabadi & Bradshaw, 1996).

Diese zentrale Hemmung lässt im Laufe des Lebens nach und bedingt dadurch z.B. eine abnehmende mittlere Pupillenweite mit dem Alter (Loewenfeld, 1999). Sie lässt aber auch situativ nach, wenn die zentralnervöse Aktivierung aufgrund von Schläfrigkeit abnimmt (Wilhelm et al., 2001a).

1.1.7 Pupillenoszillationen

1.1.7.1 Lichtinduzierte Pupillenoszillationen

Die Schwankungen der Pupillenweite unter Lichteinwirkung können als Rückkopplungseffekt im Regelkreis der Pupillenweite gesehen werden. Normwerte für die physiologische, lichtinduzierte Pupillenunruhe gibt es nicht, da sowohl Amplitude als auch Frequenz dieser Oszillationen bei der gleichen Person, wie auch zwischen verschiedenen Personen sehr stark variieren (Löwenfeld, Buch).

1.1.7.2 Vigilanzabhängige Pupillenoszillationen oder "Schläfrigkeitwellen"

Bei hohem Aktivierungsniveau ist die Pupille weit. Bei schläfrigen Menschen treten im Dunkeln langsame (kleiner 1 Hz) Pupillenoszillationen auf, deren Amplitude bis zu mehreren Millimetern betragen kann (s. Abb. 3). Diese

Oszillationen werden auch Schläfrigkeitwellen genannt und kommen durch nachlassenden Sympthotonus bei Müdigkeit zustande. Die zentrale sympathische Hemmung der Edinger-Westphal-Kerne lässt nach und wird instabil, wodurch die Pupillenweite abnimmt und im Durchmesser stark schwankt. Diese Schläfrigkeitwellen nehmen unter Schlafmangel oder Schlafentzug, sowie bei krankheitsbedingter Störung von Schlafdauer oder Schlafqualität zu. Somit sind diese Pupillenoszillationen direkter Ausdruck des zentralnervösen Aktivierungsniveaus (Wilhelm et al., Buchartikel principles...). Auf dieser Erkenntnis basiert der pupillographische Schläfrigkeitstest, der in dieser Studie als objektives Messverfahren verwendet wird.

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen zwei Pupillogramme, Abbildung 2 das einer wachen und Abbildung 3 das, einer schläfrigen Person mit Schläfrigkeitwellen.

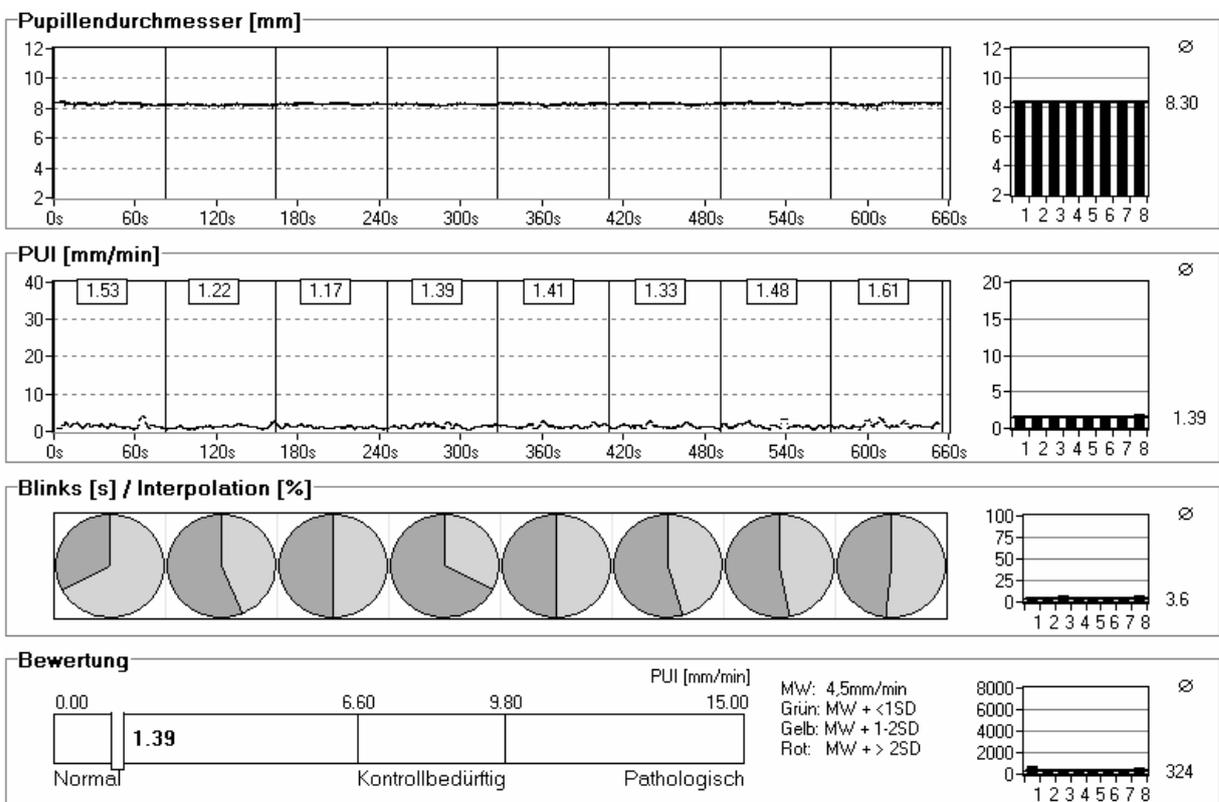


Abb.2: PST-Pupillogramm, Proband mit hohem zentralem Aktivierungsniveau. In den zwei oberen linken Diagrammen sind einmal der Pupillendurchmesser und einmal der PUI gegen die Zeit aufgetragen. Das dritte Diagramm zeigt Messwertausfälle durch Blinzeln (oder auch Augenschließen) in Prozent an. Im untersten Diagramm ist die Bewertung des Messergebnisses gemäß der Normwertstudie durch einen kleinen Balken markiert. In den rechts stehenden Diagrammen sind jeweils die Durchschnittswerte der acht Zeitfenster zu sehen und im Balken rechts daneben steht der jeweilige Mittelwert der gesamten Messdauer.

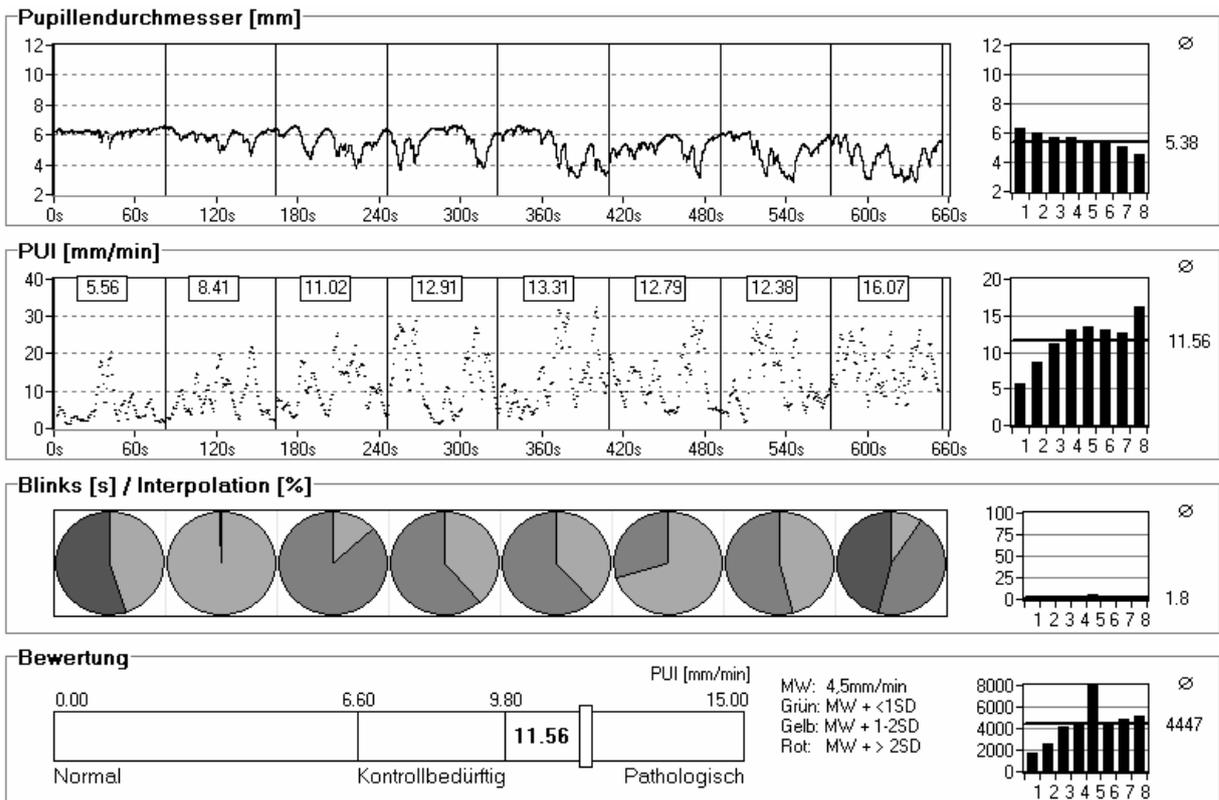


Abb.3: PST-Pupillogramm, Proband mit niedrigem zentralem Aktivierungsniveau. In den zwei oberen linken Diagrammen sind einmal der Pupillendurchmesser und einmal der PUI gegen die Zeit aufgetragen. Das dritte Diagramm zeigt Messwertausfälle durch Blinzeln (oder auch Augenschließen)

in Prozent an. Im untersten Diagramm ist die Bewertung des Messergebnisses gemäß der Normwertstudie durch einen kleinen Balken markiert. In den rechts stehenden Diagrammen sind jeweils die Durchschnittswerte der acht Zeitfenster zu sehen und im Balken rechts daneben steht der jeweilige Mittelwert der gesamten Messdauer.

1.2 Pupillographie zur Untersuchung von Schläfrigkeit – Stand des Wissens

Lowenstein und *Loewenfeld* beschrieben 1963 das Phänomen der Pupillenoszillationen bei müden Probanden erstmals anekdotisch (Loewenstein et al., 1963) als „fatigue waves“ (Müdigkeitswellen). Heute verwendet man eher den Begriff Schläfrigkeitwellen, da in der Schlafmedizin Schläfrigkeit von Müdigkeit (Fatigue) als einer psychischen Befindlichkeit unterschieden wird. Kurze Zeit später untersuchte *Yoss* Narkoleptiker (Yoss et al., 1969) und *Schmidt* Schlafapnoeiker (Schmidt et al., 1983) mit Hilfe der Pupillographie und beobachteten bei beiden Patientengruppen spontane Pupillenunruhe im Dunkeln. Zu Beginn der 90er Jahre wurde eine computergestützte Analyse von Langzeit-Pupillogrammen entwickelt (McLaren et al., 1992). Durch das Vorhandensein von Algorithmen zur Artefaktminimierung mussten keine Lidsperrer zur Vermeidung von Lidschlägen verwendet werden, welche die Vigilanz beeinflussen könnten. Außerdem ermöglichte der Ansatz von *McLaren* die objektive Auswertung der Pupillenoszillationen. Von da an wurde die Artefakteliminierung immer weiter verbessert und schließlich ein neuer Pupillograph konstruiert (Merrit et al., 1994; McLaren et al., 1995), der als Einzelexemplar am Center for Narcolepsy in Chicago zum Einsatz kam.

In Tübingen wurde ab 1993 von der Arbeitsgruppe *Wilhelm* der Pupillographische Schläfrigkeitstest (PST) entwickelt, der auf dem Prinzip der computergestützten Infrarot-Video-Pupillographie beruht (*Wilhelm B. et al., 1996 a; Lüdtkke et al., 1998;*), und eine automatische Auswertung einschließt. Dieser Pupillographische Schläfrigkeitstest (PST) wird seither zur Messung von Tagesschläfrigkeit benutzt (*Weeß et al., 1998; Weeß et al., 2000*) und findet seit einigen Jahren Anwendung in der Schlafforschung und Schlafmedizin (*Wilhelm*

B. und Wilhelm H., 1994; Wilhelm B. et al., 1996 b) im europäischen Raum. Kernstück der Erfassung ist ein spezieller Algorithmus, der die Pupillenweite unter den besonderen Gegebenheiten einer Schläfrigkeitmessung sicher bestimmt. Die Patentierung des PST erfolgte 1997 durch die Universitätsklinik Tübingen (UKT-Patent 5402P137), die Lizenzierung ebenfalls 1997 durch die Firma AMTech. In mehreren Studien wurden die testtheoretischen Gütekriterien des Verfahrens untersucht und definiert. 1997 führte *Wilhelm* eine Studie mit 13 gesunden Probanden durch, um festzustellen, wie sich die numerischen Parameter, die die spontanen Pupillenoszillationen im Dunkeln beschreiben, bei gesunden Probanden unter Schlafentzug verändern und ob Schläfrigkeit quantitativ durch die Parameter, die durch die Analyse des Pupillogramms gewonnen werden, beschrieben werden kann (Wilhelm B et al., 1998a). Ergebnis war, dass mit fortschreitendem Schlafentzug Schläfrigkeitwellen zunehmen und eine Quantifizierung der Schläfrigkeit durch Analyse des Pupillogramms möglich ist.

Des Weiteren wurden klinische Studien durchgeführt, bei denen gezeigt werden konnte, dass Patienten mit Hypersomnie deutlich höhere PST-Werte aufweisen als Gesunde (Wilhelm H. et al., 1998) und dass sich bei Patienten mit obstruktivem Schlafapnoe-Syndrom die PST-Werte unter der Therapie mit nächtlicher Beatmung (nCPAP-Therapie) signifikant verbessern (Sullivan et al., 1981). Es ist also eine objektive Therapiekontrolle mit dem PST durchführbar (Wilhelm B. et al., 1998b; Wilhelm B. et al., 1998c; Wilhelm B. et al., 1999).

Ende der 90er Jahre wurde eine Normwertstudie mit 140 gesunden Männern zwischen 35 und 60 Jahren für das PST von *Körner* et al. (1998) durchgeführt. Drei Jahre später lieferte eine weitere Studie geschlechtsunabhängige Normwerte für Frauen und Männer zwischen 20 und 60 Jahren (Wilhelm B. et al., 2001). *Pohl* et al. fanden eine signifikante Beziehung der PST-Werte zur Schlaflatenz im Multiplen-Schlaf-Latenz Test (MSLT; Pohl et al., 1998). In anderen Studien ließ sich eine signifikante Korrelation zur subjektiven Stanford-Schläfrigkeitsskala (Körner et al., 1998; s. Kapitel 2.3.3) sowie zur Epworth-Schläfrigkeitsskala (Wilhelm B. et al., 1998b; Wilhelm B. et al., 1998c), welche die subjektive Einschlafneigung bei Tage erfasst, nachweisen.

Von *Lüdtke* et al. wurde das PST auf seine Reliabilität hin überprüft: 38 gesunde Männer (35-60 Jahre) wurden zweimal unter gleichen Bedingungen im Abstand von drei Monaten von der gleichen Person gemessen. Die Korrelation der beiden Messungen ist hochsignifikant ($p < 0.0001$), der Korrelationskoeffizient beträgt 0,64 und der Wiederholungskoeffizient 0,76 (*Lüdtke* et al., 2000). *Möller* et al. zeigte 2002, dass die Bedingungen vor dem Test, wie Bewegung oder motorische Ruhe vor der Messung, einen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit des Pupillographischen Schläfrigkeitstestes haben (*Möller* et al., 2002). *Heneka* et al. untersuchten die Wirkung von Nikotin auf die Ergebnisse des PST bei 52 gesunden Testpersonen (25 Raucher und 27 Nichtraucher). Weder unter Normalbedingungen, noch nachdem die Raucher eine Zigarette geraucht hatten fand sich während mehrstündiger Beobachtung ein Unterschied (Äquivalenz, Cut-off 0,3 InPUI) zwischen Rauchern und Nichtrauchern. Die subjektive Schläfrigkeit der beiden Gruppen zeigt einen ähnlichen Verlauf (*Heneka* et al., 2003). *Stuiber* et al. überprüften den zeitlichen Verlauf und das Ausmaß des Einflusses von Koffein auf die Ergebnisse des PST bei 20 gesunden Probanden. Es wurde deutlich, dass Koffein niedrigere PUI-Werte verursachte. Die maximale Koffeinwirkung wurde 1:15 h nach Genuss einer Standardtasse Kaffee (100 mg Koffein) gemessen. Nach vier Stunden waren immer noch eindeutige Koffeinwirkungen zu erkennen, weshalb ab Mitternacht vor einer PST-Messung, auf den Genuss von Koffein verzichtet werden sollte (*Stuiber* et al., 2003). Auch im Bereich der Verkehrsmedizin findet der Pupillographische Schläfrigkeitstest Verwendung. Seine Objektivität in Bezug auf Schläfrigkeit macht ihn gerade hier zu einem wertvollen Messverfahren. 2001 macht *Weeß* in einer Studie über Verkehrsgefährdung infolge Schläfrigkeit am Steuer deutlich, dass insbesondere bei LKW-Fahrern der Anteil übermüdeiter Fahrer sehr hoch ist (*Weeß* et al., 2001). *Wilhelm* beschreibt eine Studie über Autofahrer und deren Schläfrigkeit an einer deutschen Autobahn, bei der von insgesamt 156 Teilnehmern 10% als pathologisch gewertet wurden und 6 Personen sogar einschliefen (*Wilhelm* et al., 2003). Des Weiteren untersuchte *Weeß* 2003 in zwei Feldstudien den Anteil erhöhter Schläfrigkeitswerte bei Kraftfahrern und deren Ursachen und

kam zu dem Ergebnis, dass ein hoher Anteil schläfriger Kraftfahrer auf bundesdeutschen Autobahnen unterwegs ist (Weeß et al., 2003).

Neueste Studien mit dem PST wurden im Bereich der Pharmakologie und der Arbeitsmedizin durchgeführt. *Schnell* untersuchte zunächst Oxazepam auf „hang-over-Effekte“ anhand des PST (Schnell et al., 2003a) und anschließend ein pflanzliches Schlafmittel (Schnell et al., 2003b). 2004 fand eine Studie über Schläfrigkeit von Schichtarbeitern nach verlängerter Schichtdauer statt (Durst et al., 2004) und eine weitere Studie über Ärzte nach nächtlichem Bereitschaftsdienst (Wilhelm et al., 2004). In beiden Studien ließ sich mit dem PST am Arbeitsplatz deutliche Schläfrigkeit nachweisen.

1.3 Schläfrigkeit im Straßenverkehr

Eigentlich kennt es fast jeder Autofahrer: Man fährt schon eine Weile, wird müde und die Aufmerksamkeit nimmt immer mehr ab. Fast unmerklich fallen einem die Augen zu. Es dauert nur Sekunden, aber gerade dieser Sekundenschlaf ist häufig verantwortlich für schwere, oft lebensgefährliche Unfälle. Auch ohne dass man einschläft, kann man so müde sein, dass die zum Autofahren unbedingt notwendige kurze Reaktionszeit nicht mehr vorhanden ist und folgenschwere Fehler passieren.

1.3.1 Entwicklung von Verkehrsunfällen

In den letzten Jahren zeichnet sich im Straßenverkehr eine erfreuliche allgemeine Tendenz ab. Schwere und tödliche Unfälle gehen zahlenmäßig zurück, obgleich die Anzahl der Kraftfahrzeuge auf den Strassen zunimmt. So sank die Zahl der Verkehrstoten 2003 gegenüber dem Vorjahr um 3,4 Prozent auf 6606, die der Personenschäden um 2 Prozent auf 354000. So erfreulich dieser Rückgang ist, der sicherlich auch Folge verbesserter aktiver und passiver technischer Sicherheit ist, sind die Zahlen immer noch zu hoch.

Die vermutlich bedeutendste Ursache, die bei einem großen Teil der Unfälle eine Rolle spielt, ist die falsche Einschätzung der eigenen Fähigkeiten. Deshalb ist es sinnvoll, sich einzelnen Aspekten dieser individuellen menschlichen Fähigkeiten stärker zuzuwenden.

1.3.2 Anforderungen an den Autofahrer

Im Straßenverkehr ist Aufmerksamkeit, Konzentration und Reaktionsbereitschaft absolut notwendig. Schon kleinste Unachtsamkeiten können fatale Folgen haben und zwar nicht nur für den Fahrer selbst, sondern auch für alle anderen Verkehrsteilnehmer. Der Fahrer muss nicht nur ausreichend gut sehen können, er muss in der Lage sein, relevante Informationen aus der Vielfalt von visuellen Eindrücken herauszufiltern. Um gezielt auf häufig nur angedeutete Veränderungen im Umfeld zu reagieren, braucht er ein sehr hohes Maß an Wachheit und Reaktionsbereitschaft.

Neben notwendigen Anforderungen an den Autofahrer stehen weitere Anforderungen der modernen Gesellschaft. Der moderne Mensch möchte gerne unabhängig von Tageszeit und natürlichen Rhythmen sein, sei es als Arbeitskraft oder als Konsument von Unterhaltung. So kommt es häufig vor, dass der übliche Schlaf-Wach-Rhythmus nicht eingehalten werden kann, dass die Schlafdauer über lange Perioden oder auf Dauer verkürzt ist, wodurch eine erhöhte Einschlafgefährdung und eine erniedrigte Aufmerksamkeits- und Reaktionsbereitschaft resultiert. Diese Fahrer treten trotz Schlafmangel Autofahrten an, obgleich somit ein hohes Einschlafrisiko besteht und eine reduzierte Reaktionsbereitschaft zu erwarten ist.

Zu diesem Dilemma kommt noch hinzu, dass durch moderne Sicherheitssysteme eine Sicherheit vorgetäuscht wird. Das Autofahren wird zu einer wenig belastenden und fast zur entspannenden Angelegenheit, was aber letztendlich nicht viel nützt, wenn ein eingeschlafener Fahrer ungebremst auf ein Hindernis oder gar ein entgegen kommendes Fahrzeug rast. Spektakuläre Reisebusunfälle der letzten Jahre sprechen eine deutliche Sprache.

1.3.3 Schlafapnoe-Syndrom und Fahrtauglichkeit

Das Schlafapnoe-Syndrom ist eine Erkrankung, bei der es nachts häufig zu langen Atemstillständen kommt, die durch Verlegung der Atemwege hervorgerufen werden. Die Folge ist zu wenig Sauerstoff für das Gehirn. Als Schutzmaßnahme sendet das Gehirn Wecksignale aus, die den Patienten aus dem Tiefschlaf reißen und zum Atmen bringen, ohne dass ihm dieser Vorgang

bewusst wird (Arousals). Dieser Vorgang wiederholt sich bis zu 300mal pro Nacht und stört somit den natürlichen Schlafrhythmus massiv. Das Problem ist also, dass der Schlafapnoeiker ohne es zu wissen unter dauerhaftem Schlafmangel leidet. Außerdem kommt noch hinzu, dass das Herzinfarkt- und Schlaganfallrisiko steigt, da z.B. der Körper das nächtliche Sauerstoffdefizit durch erhöhten Blutdruck auszugleichen versucht (Biermann et al., 2000). Übergewicht, Rauchen, Bewegungsmangel, männliches Geschlecht und zunehmendes Alter sind die wesentlichen Risikofaktoren der Krankheit. Da die Prävalenz bei Männern über vierzig bei 5-10% anzunehmen ist, kann man vermuten, dass eine beträchtliche Risikogruppe mit dieser Erkrankung auf unseren Straßen unterwegs ist. Bei vielen Patienten wird die Diagnose erst spät gestellt, so dass sie ihr Risiko lange Zeit nicht einmal kennen. *Suratt* und *Findley* sprechen von 80% nicht diagnostizierter Schlafapnoeiker bei Menschen zwischen dem 30. und 60. Lebensjahr (Suratt et al., 1999).

Es fällt leicht zu folgern und ist auch in verschiedenen Studien belegt (Böhning et al., 2002), dass diese chronisch schläfrigen Menschen ein beträchtliches Risiko für die Sicherheit im Straßenverkehr darstellen.

Somit sind es zwei Fahrergruppen, die ein erhöhtes Unfallrisiko haben: jene, die aufgrund ihrer Lebensumstände nicht ausgeschlafen sind und jene, die es aufgrund einer Krankheit gar nicht sein können.

1.3.4 Unfälle infolge erhöhter Tagesschläfrigkeit

Anteilmäßig nehmen Unfälle infolge erhöhter Tagesschläfrigkeit zwangsläufig zu, wenn andere Unfallursachen abnehmen. Es ist sogar zu befürchten, dass diese Unfälle auch absolut zunehmen, wenn der seine natürlichen Bedürfnisse missachtende Autofahrer sich immer mehr auf die Fahrzeugtechnik verlässt. Erste Erkenntnisse über die Häufigkeit einschlafbedingter Unfälle wurden anfangs der 90er Jahre aus Unfallberichten gewonnen. Die Angaben liegen bei mindestens 25% aller Verkehrsunfälle (Zulley et al., 1995; Horne & Reyner, 1995; Horne & Reyner, 1999). In den USA werden in letzter Zeit deutlich höhere Zahlen geschätzt (<http://www.sleepfoundation.org>). Auch auf deutschen Autobahnen weisen insbesondere Kraftfahrer und Urlaubsreisende

pathologische Schläfrigkeitsskore auf (Weeß et al., 2001). Wenn man außerdem die Verteilung der Unfälle auf Wochentage, Uhrzeit und Alter der Unfallverursachenden betrachtet, liegt der Verdacht nahe, dass oft Schläfrigkeit im Spiel ist. Fast 40% aller Unfälle ereignen sich von Freitag bis Samstag mit einem Gipfel zwischen 5:30 und 6:30 Uhr und einem weiteren um 14:00 Uhr. Bei älteren Fahrern liegt dieser Gipfel bei 18 Uhr und bei jüngeren bei 16 Uhr (Zulley et al., 1995).

Eine Analyse von Unfällen im Stadtverkehr in Köln zeigte, dass das Problem Schläfrigkeit am Steuer durchaus nicht nur bei langen Autobahnfahrten eine Rolle spielt (ten Thoren et al., 2003). In einer Studie von *De Valck* wird deutlich, dass schon nach 25 Minuten Fahrzeit nach vorherigem Schlafentzug signifikante Defizite auftreten (De Valck et al., 2001).

Alkohol ist als zu bedenkende Unfallursache im öffentlichen Bewusstsein verankert, Schläfrigkeit bislang noch kaum. *Powell* und *Guilleminault* verglichen die Reaktionszeit auf visuelle Stimuli von Probanden nach Alkoholgenuss (>0,08 g/dl) mit Probanden nach Schlafentzug und zeigten, dass die Probanden mit Schlafentzug deutlich schlechtere Ergebnisse erbrachten (Powell et al., 2001). Auch dies zeigt, welches Gefahrenpotential Schläfrigkeit beinhaltet und dass es künftig mehr Beachtung finden sollte.

1.4 Objektive Erfassung zur Beurteilung des Problems und als Voraussetzung erforderlicher Konsequenzen

Angesichts des beschriebenen Problems ist es wichtig, sich Kenntnisse über die quantitative Bedeutung der Einschlafgefährdung im Straßenverkehr zu verschaffen. Umfragen mittels standardisierter Fragebögen oder mit Hilfe von Analogskalen können solche Informationen bereitstellen, tragen aber das Risiko der Fehleinschätzung in sich (ten Thoren et al., 2003). Deshalb ist der Einsatz objektiver Verfahren in derartigen Studien unabdingbar.

1.5 Ziele der objektiven Müdigkeitserfassung an Autobahnen

Bei den durchgeführten Aktionen ging es hauptsächlich um zwei Punkte. Zum einen sollte die Datenbasis zum Thema Schläfrigkeit am Steuer ausgebaut

werden und zum anderen sollte die Öffentlichkeit und speziell die Autofahrer über das Thema informiert werden. Die Autobahnaktionen sollten dazu beitragen, Schläfrigkeit im Bewusstsein stärker zu verankern, die Autofahrer während der Hauptreisezeiten auf die Gefahr des Sekundenschlafes hinweisen. Dazu war folgender Ablauf vorgesehen:

1. Sensibilisierung der Öffentlichkeit gemeinsam mit Medien, Autofahrerverbänden (ADAC) und Polizei während der Reisezeit.
2. Fortwährendes Angebot über Rundfunk an Autofahrer sich der freiwilligen, anonymen und kostenlosen Untersuchung und Beratung an den Raststätten Sindelfinger Wald (Autobahn Karlsruhe-Stuttgart) und Leipheim (Autobahn Ulm-Augsburg) zu beteiligen.
3. Einsatz des Pupillographischen Schläfrigkeitstests (PST, AMTech, Weinheim) zur objektiven Schläfrigkeitserfassung.
4. Zeitnahe mediale Aufbereitung der Aktionen von folgenden Radio- und Fernsehsendern: Bayerischer Rundfunk, Bayerisches Fernsehen, SWR 3, ARD in der Sendung „W wie Wissen“ und SAT 1 in der Sendung „Blitz“.

2. Methoden

2.1 Rekrutierung der Probanden

Die Messaktionen Sindelfingen und Leipheim wurden einige Tage zuvor und während den Aktionstagen von verschiedenen Radiosendern (Bayern 3 und SWR 3) angekündigt. An den Raststätten selbst hingen Informationsplakate und Mitarbeiter des Steinbeistransferzentrums Tübingen informierten im persönlichen Gespräch und verteilten Handzettel. Die Anwesenheit von Kamerateams machte die Autofahrer zusätzlich aufmerksam.

Ein- und Ausschlusskriterien wurden nicht festgelegt, somit konnte jede interessierte Person teilnehmen.

2.2 Zeitrahmen und Temperaturbedingungen

Die erste Aktion fand am 15. Juli 2003 an der Raststätte Sindelfinger Wald bei Höchsttemperaturen von 30° Celsius statt. Die zweite Aktion folgte am 17. Oktober 2003 an der gleichen Raststätte, allerdings bei kühleren Temperaturen (um 15° Celsius). Am 05. August 2004 fand die dritte Aktion an der Raststätte Leipheim statt. Es war wieder ein heißer Sommertag mit Höchsttemperaturen um 30° Celsius. An allen drei Tagen begannen die Messungen um 9 Uhr und endeten um 17 Uhr.

2.3 Ablauf und Untersuchungsmethoden

Für die Messungen standen an der Raststätte Sindelfinger Wald an beiden Messtagen zwei ruhige abgedunkelte Räume im Inneren der Raststätte zur Verfügung. In einem Raum befanden sich zwei PST-Geräte und im anderen eines. Gemessen wurde mit allen drei Geräten parallel. In Leipheim kamen insgesamt vier Geräte zum Einsatz. Zwei befanden sich in einem Raum im Innern der Raststätte, wovon das eine ein mobiles PST in Kofferformat war. Ein weiteres Gerät stand in einem Motelraum und das vierte befand sich in einem klimatisierten Transporter mit zugehängten Fenstern auf dem Parkplatz. Fahrer, die an der Messung teilnehmen wollten, wurden von den Mitarbeitern des

Steinbeistransferzentrums zu den Messräumen bzw. dem Messwagen geleitet. Dann folgten Untersuchung und Messung folgendermaßen:

Jeder Teilnehmer erhielt eine Probandennummer (Namen wurden nicht dokumentiert).

Es wurde nach Alter, Geschlecht, zurückgelegter Fahrstrecke, Fahrzeugtyp (PKW oder LKW), Dauer des Nachtschlafs in der vergangenen Nacht, Wachzeit, Koffeinkonsum und Rauchen gefragt und die Daten notiert.

Gemäß der Normwertstudie (Wilhelm et al. 2001b) wurden die Fahrer instruiert:

"Die Messung dauert 11 Minuten. Während der Messung wird es im Raum dunkel und ruhig sein. Wir werden erst nach Messende wieder mit Ihnen sprechen. Schauen Sie bitte in die Richtung des roten Lichts, Sie brauchen es aber nicht scharf zu sehen. Sie sollten nicht Kopfrechnen oder gedankliche Probleme lösen, sondern einfach entspannt nach vorne schauen. Wir stellen jetzt die Kamera ein und sagen Ihnen, wenn die Messung beginnt."

Die PST-Messung wurde durchgeführt und anschließend schätzte jeder Teilnehmer sein subjektives Befinden anhand der Stanford-Schläfrigkeitsskala (SSS) ein.

Abhängig vom Messergebnis wurden bestimmte Verhaltensweisen empfohlen (siehe unten).

2.4 Beschreibung Pupillographischer Schläfrigkeitstest

2.4.1 Messaufbau und Messsituation

Das verwendete Messsystem besteht aus einer infrarot-empfindlichen Videokamera, die über eine Bildwandlerkarte mit einem Personalcomputer verbunden ist. Die bildverarbeitende Software erhebt Daten in 25 Hz-Echtzeitanalyse, welche bei optimaler Einstellung eine räumliche Auflösung von < 0,05 mm erreicht. Sie ist so konzipiert, dass sie bei Augenbewegungen von wenigen Winkelgraden der Pupille mit einem quadratischen Suchfenster folgen

kann. Die Pupillenerfassung erfolgt monokular. An der Objektivöffnung der Kamera befindet sich die Infrarot-Leuchtdiode, die dem Probanden gleichzeitig als Fixationshilfe dient, da die Diode in der Dunkelheit sichtbar ist.

Während der 11-minütigen Messung sitzt die Versuchsperson in einem ruhigen, abgedunkelten Raum. Der Kopf liegt in einer kombinierten Kinn-/Stirnstütze, die auf einen Tisch montiert ist. Auf der anderen Seite des Tisches in einem Abstand von 70 cm ist die Infrarotkamera angebracht (s. Abb. 4). Während der Messung trägt die Versuchsperson eine Infrarotfilterbrille zur Abschirmung von Restlicht im Raum.

Der Untersucher sitzt vor einem Monitor, auf dem sich das Kamerabild und mehrere Messparameter wie Durchschnittswerte des Amplitudenspektrums $\leq 0,8$ Hz (Fast Fourier Transformation), Pupillenunruheindex (PUI) und Verhalten der durchschnittlichen Pupillenweite im Messverlauf darstellen (Wilhelm et al., 2002). Er kann also die Messung verfolgen und gegebenenfalls eingreifen (Bildunschärfe, unruhige Fixation, Einschlafen etc.) (Lüdtke et al., 1998).



Abb. 4: Pupillographischer Schläfrigkeitstest (PST), Foto: AMTech, Weinheim.

In Leipzig kam zu den drei üblichen PST-Geräten (s. o.) ein mobiles hinzu. Hierbei handelt es sich um einen Koffer, der mit einem Computer und einer Messbrille, in die Kamera und Lichtquelle integriert sind, ausgestattet ist (s. Abb.5). Diese Version ist als „Fit-for-Duty“ auf dem Markt.

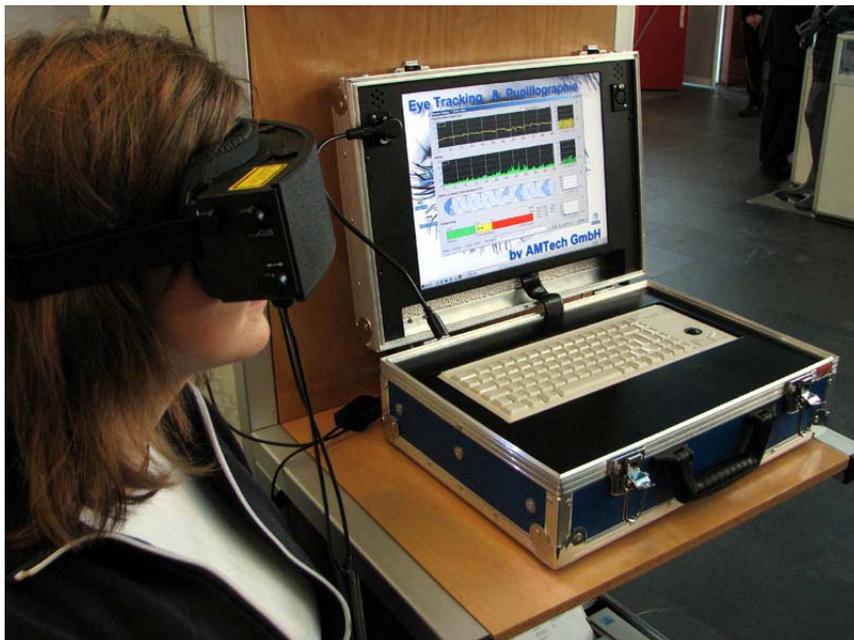


Abb. 5. Mobiles PST, Foto: B. Wilhelm

2.4.2 Messalgorithmus

Das bildverarbeitende Programm identifiziert den ersten Purkinje-Reflex auf der Hornhaut als hellsten Bildpunkt in der hell erscheinenden Pupille (durch konfokale Beleuchtung). Von diesem Punkt ausgehend wird der Abstand des Pupillenrandes nach rechts, links und nach unten bestimmt. Mit Methoden der analytischen Geometrie wird aus den resultierenden Streckenabschnitten der Pupillendurchmesser bestimmt (Lüdtke et al., 1998). Auch wenn der Purkinje-Reflex nicht exakt in der Mitte der Pupille liegt bzw. die obere Pupillenhälfte durch Oberlid oder Wimpern bedeckt ist, misst dieses Verfahren noch

verlässlich, sofern etwa die Hälfte der Pupille noch detektierbar ist. Diese Vorgehensweise ist durch die unterschiedliche Helligkeit von Pupille und Iris möglich: Das einfallende Infrarotlicht wird von der Netzhaut fast vollständig reflektiert, wodurch die Pupille heller als die Iris erscheint; die Pupille muss allerdings groß genug sein ($> 2,5$ mm im Durchmesser), um einen ausreichenden Kontrast zu gewährleisten.

Weitere Einzelheiten des Berechnungsverfahrens sind an anderer Stelle ausführlich beschrieben (Lüdtke et al., 1998, Lüdtke et al., 2004).

2.4.3 Datenanalyse, Artefaktbereinigung und Fast-Fourier-Transformation (FFT)

Zur Frequenzanalyse, nach Interpolation kurzer, durch Blinzeln verursachter Messunterbrechungen, wird mittels Fast-Fourier-Methode (FFT) die Datensequenz in Abschnitte mit jeweils 2048 Werten unterteilt (entspricht ca. 82s). In jedem dieser Zeitfenster wird der Mittelwert des Pupillendurchmessers berechnet und von jedem einzelnen Messwert abgezogen. Anschließend wird eine FFT durchgeführt. Im letzten Datenfenster werden die zur Zahl 2048 fehlenden Werte durch Nullen aufgefüllt. Zur Abschätzung des Frequenzspektrums, kommt für jeden diskreten Frequenzwert der Betrag des komplexen Fourier-Koeffizienten zur Darstellung, wobei nur der Frequenzbereich von 0-0,8 Hz berücksichtigt wird (Lüdtke et al., 1998). Das Ergebnis des FFT ist das Amplitudenspektrum [mm·s], dessen Werte mit zunehmender Schläfrigkeit ansteigen.

2.4.4 Pupillenunruheindex (PUI)

Als Maß für die Schläfrigkeit während der Messung wird zur Auswertung dieser Studie der Pupillenunruheindex (PUI) [mm/min] herangezogen. Dieser gibt die pupillomotorische Instabilität bzw. die Oszillationstendenz der Pupille an, ist also ein Maß dafür, wie stark sich der Pupillendurchmesser über die Zeit hin verändert.

Für die Berechnung werden zunächst die Mittelwerte von jeweils 16 aufeinander folgenden Werten herangezogen (s. Abb. 5). Die Werte der Differenzen von einem Mittelwert zum nächsten werden für jedes 82s-Zeitfenster addiert (127 Differenzen pro Fenster) und gemittelt. Dies ist dann der PUI für das entsprechende Datenfenster. Zuletzt wird der durchschnittliche PUI der Gesamtmessung aus allen Zeitfenstern berechnet (Lüdtke et al., 1998). Mit zunehmender Schläfrigkeit steigt dieser Zahlenwert an. PUI und Amplitudenspektrum korrelieren stark miteinander.

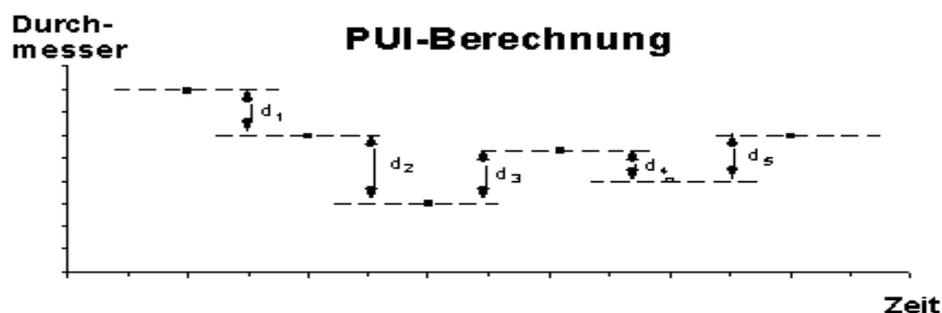


Abb.6: Berechnung des PUI

2.4.5 Rahmenbedingungen

Um verlässliche und vergleichbare Messergebnisse zu erhalten, wurden im Zuge der Normierung des PST-Verfahrens bestimmte Rahmenbedingungen für klinische Analysen definiert (Wilhelm et al., 2001b). Auch bei dieser Studie wurde versucht, diese Kriterien, soweit dies möglich bzw. sinnvoll war, einzuhalten.

1. Messung in entspannter Atmosphäre;

denn jede Form von Stress stimuliert die zentralnervöse Aktivität, welche mit dem PST gemessen wird.

2. Verzicht auf Vigilanz beeinflussende Substanzen

In unserer Autobahnstudie wurde dieser Punkt vernachlässigt.

3. Reizabschirmung

Normalerweise soll die Messung in einem ruhigen und weitgehend gegen akustische Reize abgeschirmten Raum stattfinden. Während einer Messung wird nicht gesprochen, nur wenn der Proband einschläft, wird er mit einem Tonsignal geweckt bzw. angesprochen. Auch bei diesem Punkt mussten wir Abstriche machen, denn eine Autobahnraststätte ist kein ruhiger Ort, weder der Parkplatz noch die Innenräume. Trotzdem wurde so weit dies möglich war darauf geachtet.

4. Dunkelheit

Der Messraum muss abgedunkelt sein, des Weiteren ist das Tragen der Messbrille zur Lichtabschirmung unverzichtbar, da selbst schwache konstante Umgebungshelligkeit zu helligkeitsabhängigen Oszillationen führt, die die spontanen Pupillenoszillationen überlagern und somit eine unkontrollierbare Fehlerquelle für die PST-Messwerte darstellen würden. Dunkeladaptation vor der Messung ist nicht notwendig, da im Gegensatz zur Pupillenlichtreaktion der Adaptationszustand der Netzhaut für die PST-Messung keine Rolle spielt. Diese Bedingung wurde auch an der Autobahn strikt eingehalten.

2.5 Vorgehen bei auffälligen Befunden

Wir gaben folgende Empfehlungen, die sich an Forschungsergebnissen englischer Schlafmediziner orientieren (Reyner et al., 1997; Horne & Foster, 1995; Horne & Reyner, 1996; Reyner et al., 2000).

IHR BEFUND IM PUPILLOGRAPHISCHEN SCHLÄFRIGKEITSTEST -
UND WAS NUN?

Sehr geehrte Dame, sehr geehrter Herr,

für Ihre Bereitschaft an der Befragung und der Schläfrigkeitsmessung teilzunehmen bedanken wir uns ganz herzlich. Ihre Angaben werden völlig anonym behandelt und nirgendwo unter Ihrem Namen gespeichert. Die Zuteilung einer Messnummer erfolgt nur, um Ihre Angaben aus der Befragung und die Messergebnisse später zusammenzuführen. Die Untersuchung dient dazu, die Gefährdung durch Übermüdung im Straßenverkehr besser beurteilen zu können.

Und das ist Ihr Ergebnis:

◆ (PUI < 6,6 mm/min)

Bei Ihnen haben wir keine erhöhte Einschlafneigung gefunden. Wir wünschen Ihnen eine gute Weiterfahrt.

◆ (PUI 6,6 mm/min bis 9,8 mm/min)

Bei Ihnen wurde eine erhöhte Einschlafneigung gefunden. Wir empfehlen Ihnen, bevor Sie weiterfahren, eine kurze Schlafpause von ca. 15 Minuten in Ihrem Fahrzeug einzulegen, danach 1-2 Tassen Kaffee zu trinken oder einen sog. Energy-Drink zu sich zu nehmen und sich zu bewegen. Diese Vorgehensweise hat sich als die effektivste erwiesen, die Schläfrigkeit kurzfristig (max. 2 h) zu überwinden. Wir empfehlen Ihnen daher trotzdem, sobald wie möglich eine lange Ruhepause mit ausreichendem Schlaf einzulegen.

◆ (PUI > 9,8 mm/min oder eingeschlafen)

Bei Ihnen wurde eine sehr hohe Einschlafneigung gefunden, oder Sie sind während der Messung sogar eingeschlafen! Wir raten Ihnen deshalb dringend davon ab, Ihre Reise fortzusetzen. Lassen Sie einen Ihrer Mitreisenden ans Steuer, sofern er oder sie fit zum Fahren ist. Ansonsten können wir Ihnen nur empfehlen, Ihre Reise hier zu unterbrechen um eine längere Schlafpause einzulegen.

Nochmals vielen Dank für Ihre Mitarbeit. Bitte nehmen Sie im Interesse Ihrer eigenen Sicherheit und der anderer Verkehrsteilnehmer Müdigkeit als Gefahr ernst. Wir wünschen Ihnen eine gute Weiterreise, kommen sie gesund und wohlbehalten an Ihrem Ziel an!

2.6 Stanford Schläfrigkeitsskala (SSS)

Die SSS ist eine in vielen Sprachen verwendete Skala zur Erfassung subjektiver Wachheit bzw. Schläfrigkeit (Hoddes et al., 1972; Hoddes et al., 1973). Sie besteht aus 7 stichwortartig beschriebenen Vigilanzstufen. Nach jeder Messung wurden die Autofahrer zu ihrer selbst wahrgenommenen Schläfrigkeit befragt. Dabei kannten sie ihr PST-Ergebnis noch nicht. Die deutsche Fassung der Stanford Schläfrigkeitsskala (SSS) ist im Folgenden wiedergegeben.

Frage: Wie haben Sie sich während der PST-Messung gefühlt?

1	<i>Fühle mich aktiv und vital, aufmerksam, vollkommen wach</i>
2	<i>Bin voll da, jedoch nicht auf dem Höhepunkt, kann mich konzentrieren</i>
3	<i>Entspannt, wach, nicht voll aufmerksam, ansprechbar</i>
4	<i>Etwas dösig, nicht auf dem Höhepunkt, etwas schlapp</i>
5	<i>Dösig, verliere das Interesse wach zu bleiben, verlangsamt</i>
6	<i>Schläfrig, möchte mich hinlegen, kämpfe gegen den Schlaf, benebelt</i>
7	<i>Fast träumend, schlafe bald ein, kein Bemühen mehr, wach zu bleiben</i>

2.7 Datenanalyse und Ergebnisdarstellung

Ausgewertet wurden folgende Parameter:

- der natürliche Logarithmus der PUI-Werte (lnPUI)
- die Gruppen nach den drei Kategorien normal – grenzwertig – auffällig
- Zusammenhänge mit weiteren, erhobenen Angaben wie der gefahrenen Strecke, dem Nachtschlaf, der Wachzeit, Koffein- und Nikotinkonsum und subjektiver Schläfrigkeit.

Die Verteilungen der Werte der untersuchten Variablen wurden dargestellt. Die zugehörigen Abbildungen sind uniform und zeigen in einer Balkengraphik die Verteilung über den Messwertebereich. Mit dem t-Test wurden die Differenzen der Variablen untersucht und das Signifikanzniveau auf $p = 0,05$ gesetzt. In allen Abbildungen sind Boxplots graphisch dargestellt (Median, 25. und 75. Perzentile). Alle Korrelationen wurden nach Spearman berechnet und der Korrelationskoeffizient nach Spearman sowie das Signifikanzniveau angegeben.

Unterschiede der lnPUI-Werte von drei verschiedenen Autobahn-Aktionen wurden mit einer ANOVA untersucht.

3. Ergebnisse

Es wurden insgesamt 159 Probanden auf freiwilliger Basis innerhalb dreier Untersuchungen an Autobahnraststätten mit dem PST gemessen. Im Juli 2003 nahmen 56 Probanden teil und im Oktober des gleichen Jahres 40 Probanden (Raststätte Sindelfinger Wald). In Leipheim waren es im August 2004 63 Probanden.

3.1 Ergebnisse Sindelfingen - Juli 2003

3.1.1 Einteilung der Schläfrigkeit nach PUI

Von insgesamt 56 untersuchten Autofahrern sind nach dem PUI (bzw. InPUI) 42 (75,0 %) Personen als normal, 12 (21,4 %) als grenzwertig und 2 (3,6 %) als auffällig schläfrig zu bezeichnen.

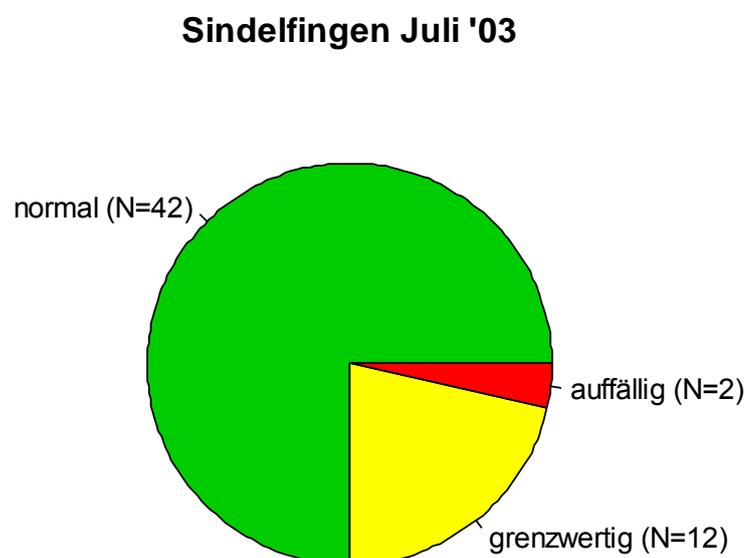


Abb.7: Klassifizierung der Schläfrigkeit nach PUI.

3.1.2 Mittelwerte von lnPUI und PUI

Der Mittelwert des lnPUI der in Sindelfingen im Juli 2003 gemessenen Probanden beträgt 1,65 mit einer Standardabweichung von 0,414. Der Mittelwert des PUI liegt bei 5,69 mit einem Minimum von 1,96 und einem Maximum von 19,46. Der Median beträgt 5,04.

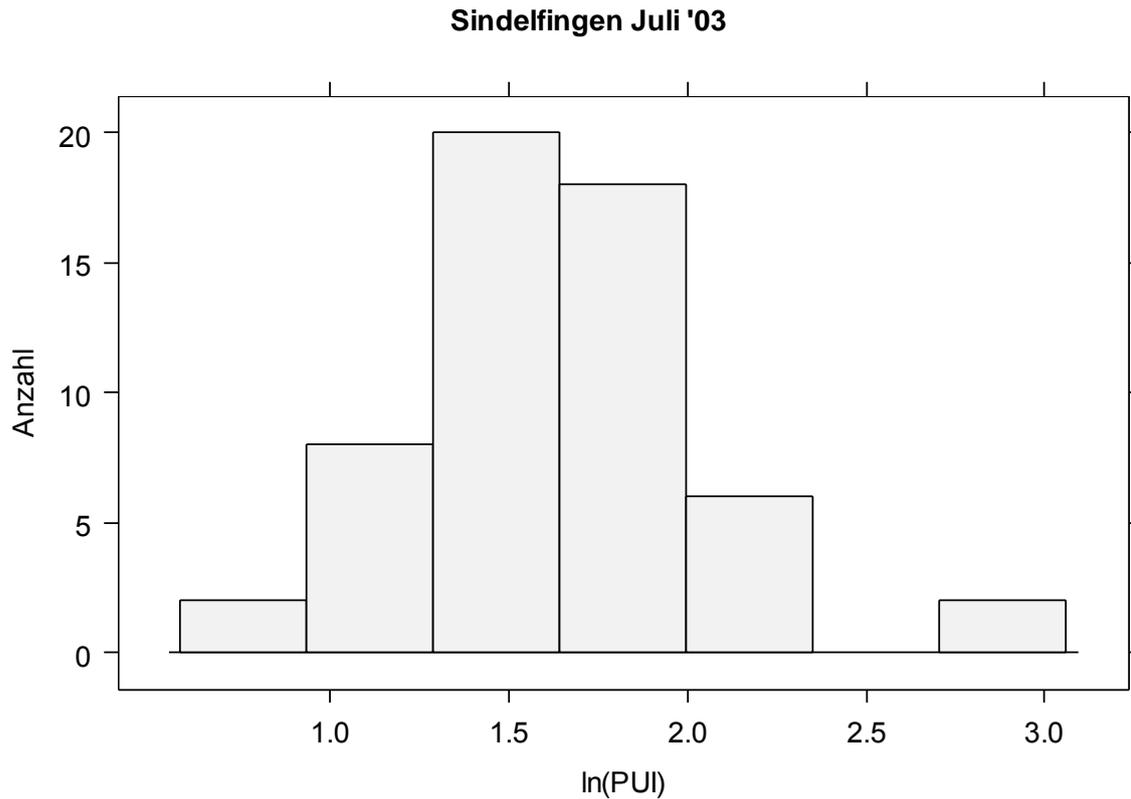


Abb.8: Verteilung des lnPUI.

3.1.3 Subjektive Schläfrigkeitsskala (SSS)

Die meisten Probanden markierten die "2" auf der SSS. Das Extrem "7" kam nicht vor.

Sindelfingen Juli '03

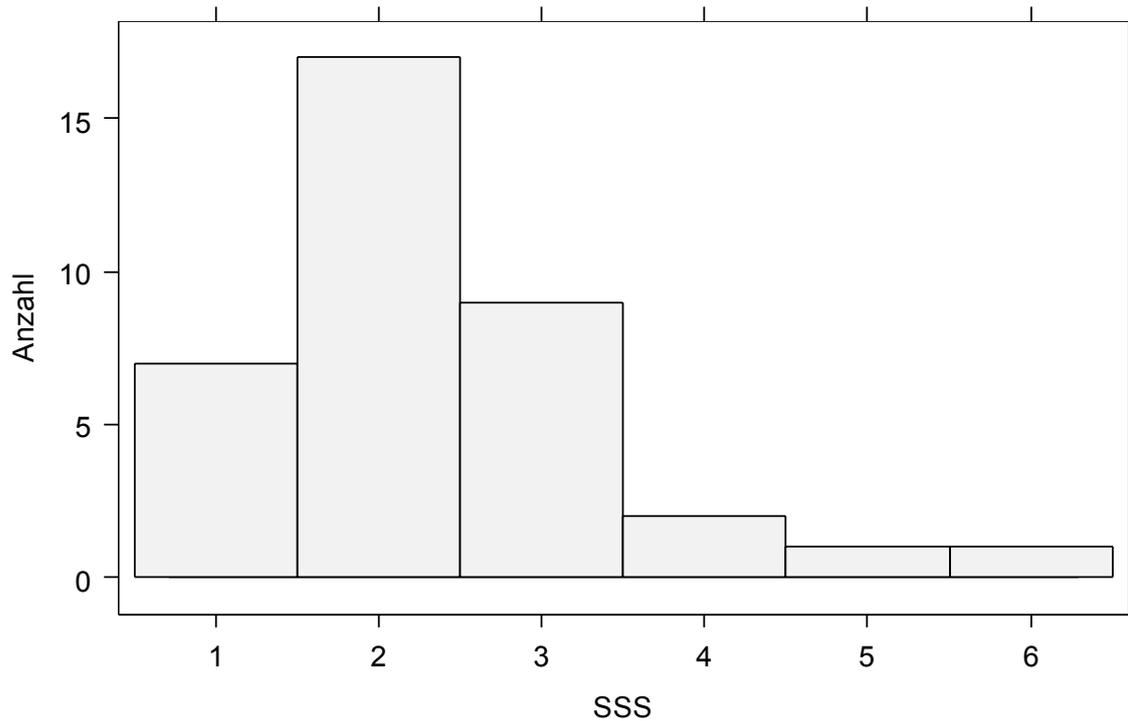


Abb.9: Verteilung der SSS-Werte.

3.1.4 Fahrzeugtyp

40 der insgesamt 56 Probanden fuhren einen PKW (71,4 %), 11 einen LKW (19,6 %). In fünf Fällen (8,9 %) sind die Fahrzeuge nicht bekannt.

3.1.5 Gefahrene Strecke

Zum Zeitpunkt der Messung waren die Probanden im Mittel 92,9 km gefahren. Die Standardabweichung betrug 46,5 km.

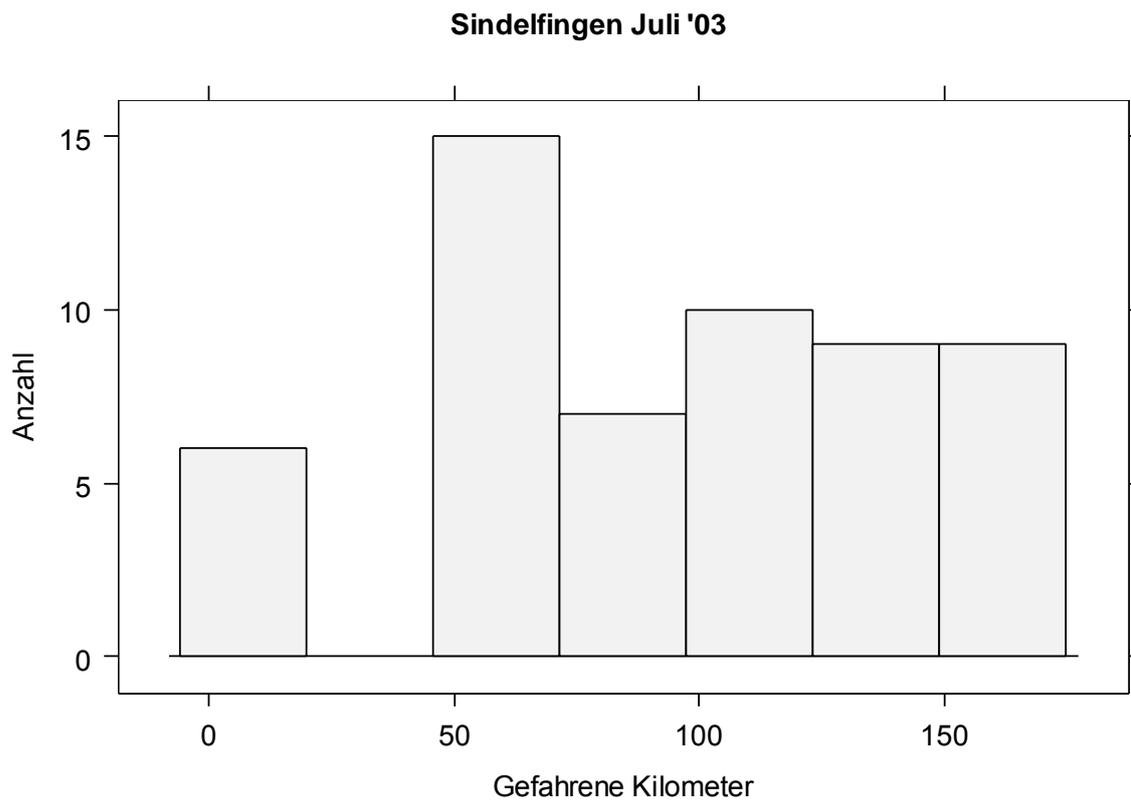


Abb.10: Verteilung der gefahrenen Strecke in km bis zur Messung.

3.1.6 Wachzeit vor der Messung

Zum Messzeitpunkt waren die Autofahrer zwischen 2 und 15 Stunden lang wach. Der Median betrug 6,5 Stunden. In drei Fällen fehlte diese Angabe.

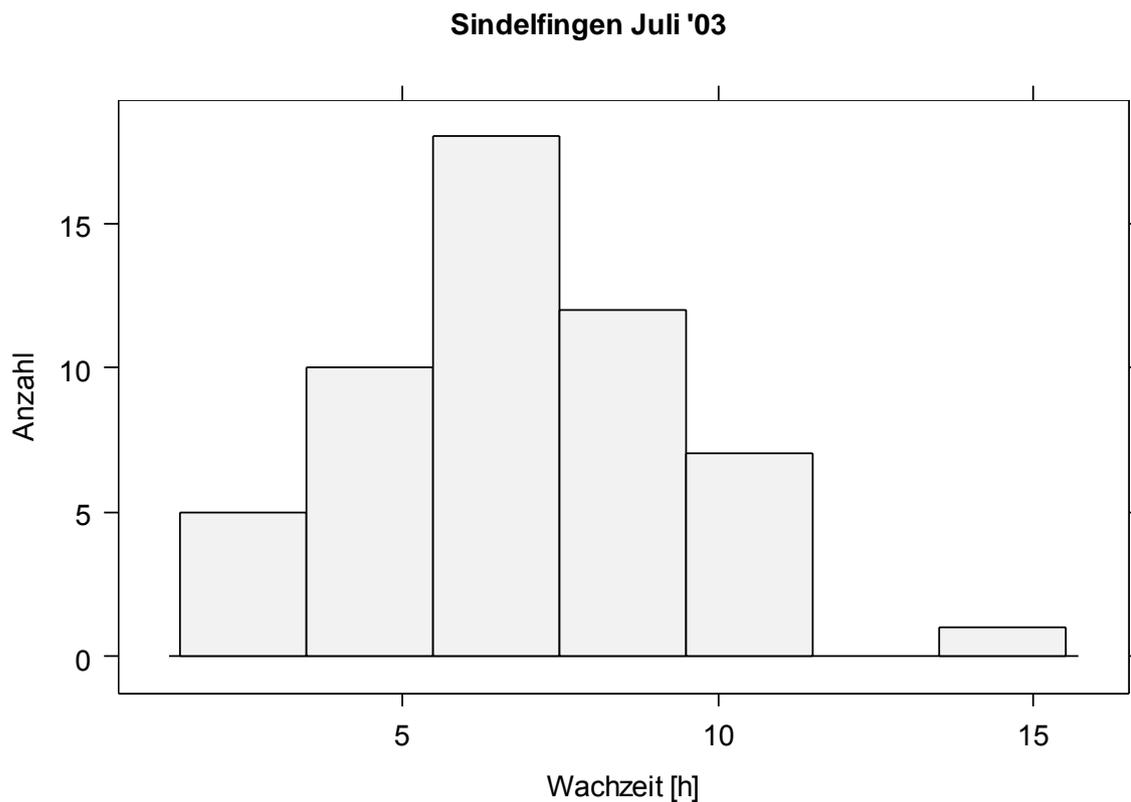


Abb.11: Verteilung der Wachzeit vor der Messung.

3.1.7 Dauer des Nachtschlafs in Stunden

Die von den Probanden angegebene Nachtschlafdauer betrug zwischen 4 und 12 Stunden bei einem Median von 7 Stunden. Die meisten Probanden gaben eine Nachtschlafdauer von 7 Stunden an. Von 4 Probanden lag keine Angabe vor.

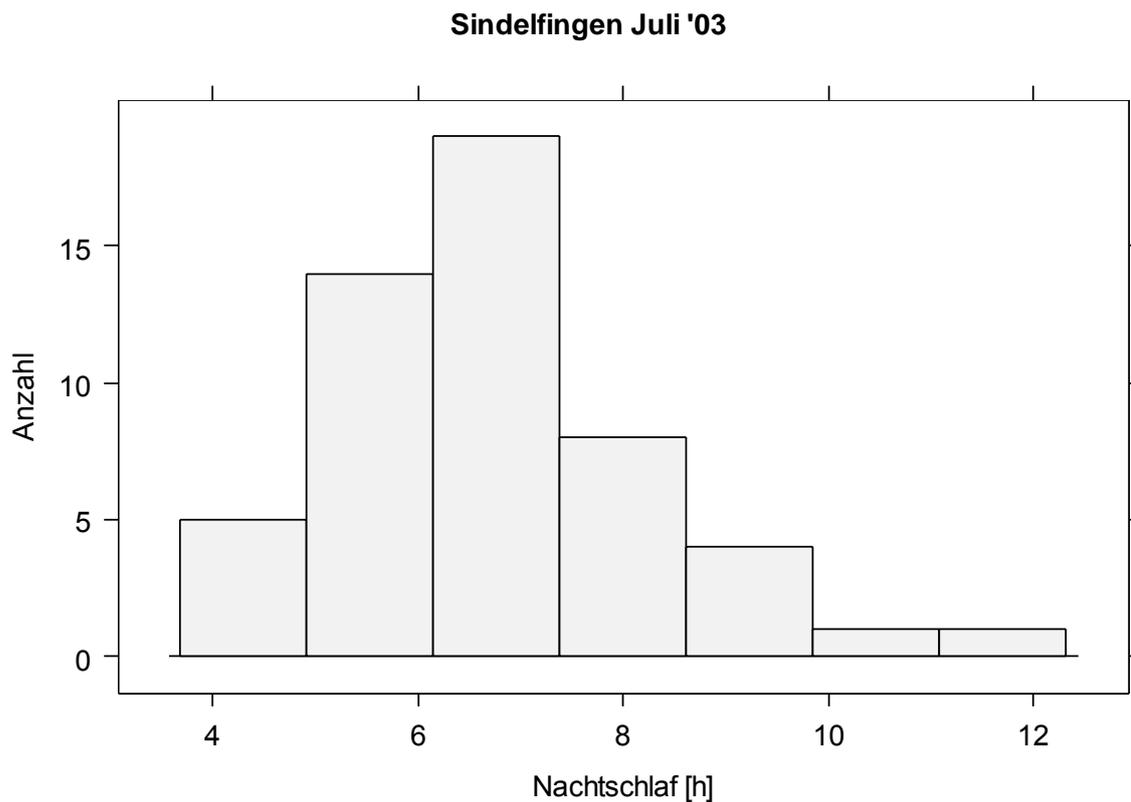


Abb.12: Verteilung der Nachtschlafdauer.

3.1.8 Koffein-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn

In den letzten 4 Stunden vor der Messung hatten 18 Probanden (32,1 %) Koffein (Kaffee, Tee,...) zu sich genommen; 35 (62,5 %) nicht. Bei 3 Probanden (5,4 %) fehlt diese Angabe.

3.1.9 Nikotin-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn

8 Probanden (14,3 %) hatten in den letzten 4 Stunden Nikotin konsumiert, während 40 Probanden (71,4 %) kein Nikotin zu sich genommen haben. Bei 8 Probanden (14,3 %) fehlt diese Angabe.

3.1.10 Zusammenhang subjektiver und objektiver Schläfrigkeit (SSS - InPUI)

Mittels der Spearman Rangkorrelation konnte ein positiver, signifikanter Zusammenhang zwischen der SSS und dem InPUI nachgewiesen werden (Spearman: $N = 37$, $r = 0,36$, $p = 0,029$). Mit steigender subjektiver Schläfrigkeit steigt die mittels des PST objektiv gemessene Schläfrigkeit an.

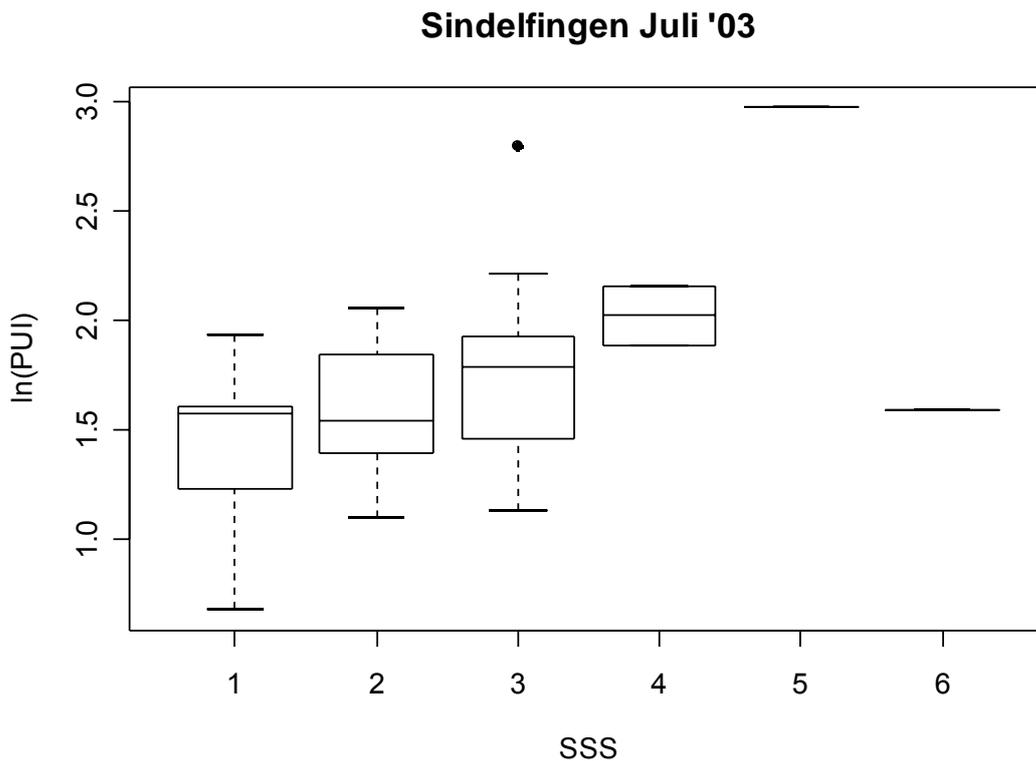


Abb.13: Abhängigkeit des InPUI von der SSS. Dargestellt sind Boxplots.

3.1.11 Abhängigkeit des InPUI von der Fahrtstrecke

Zwischen der zurückgelegten Fahrtstrecke und der Schläfrigkeit wurde das Signifikanzniveau anhand des InPUI knapp verfehlt (Spearman: $N = 56$, $r = 0,26$, $p = 0,057$). Der angedeutete positive Zusammenhang entspricht jedoch den Erwartungen.

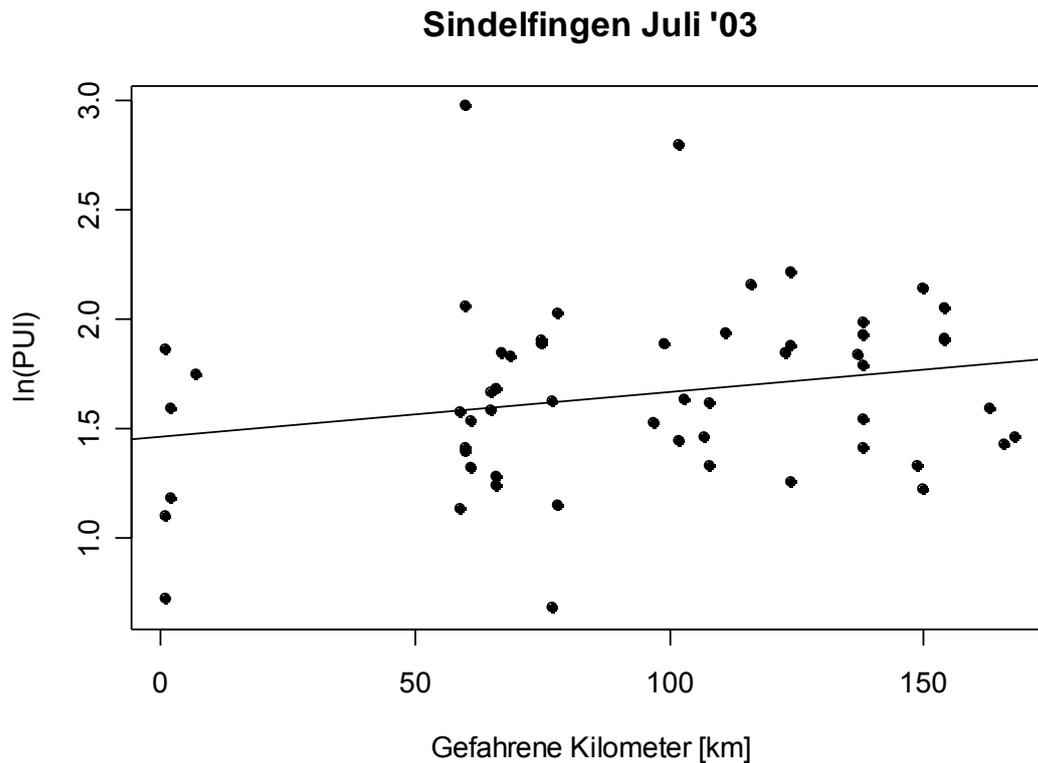


Abb.14: Abhängigkeit des lnPUI von der Fahrtstrecke.

3.1.12 Abhängigkeit des lnPUI von der Wachtzeit

Einen Zusammenhang mit dem lnPUI bezüglich der Wachtzeit konnte überhaupt nicht erkannt werden (Spearman: $N = 53$, $r = -0,002$, $p = 0,99$).

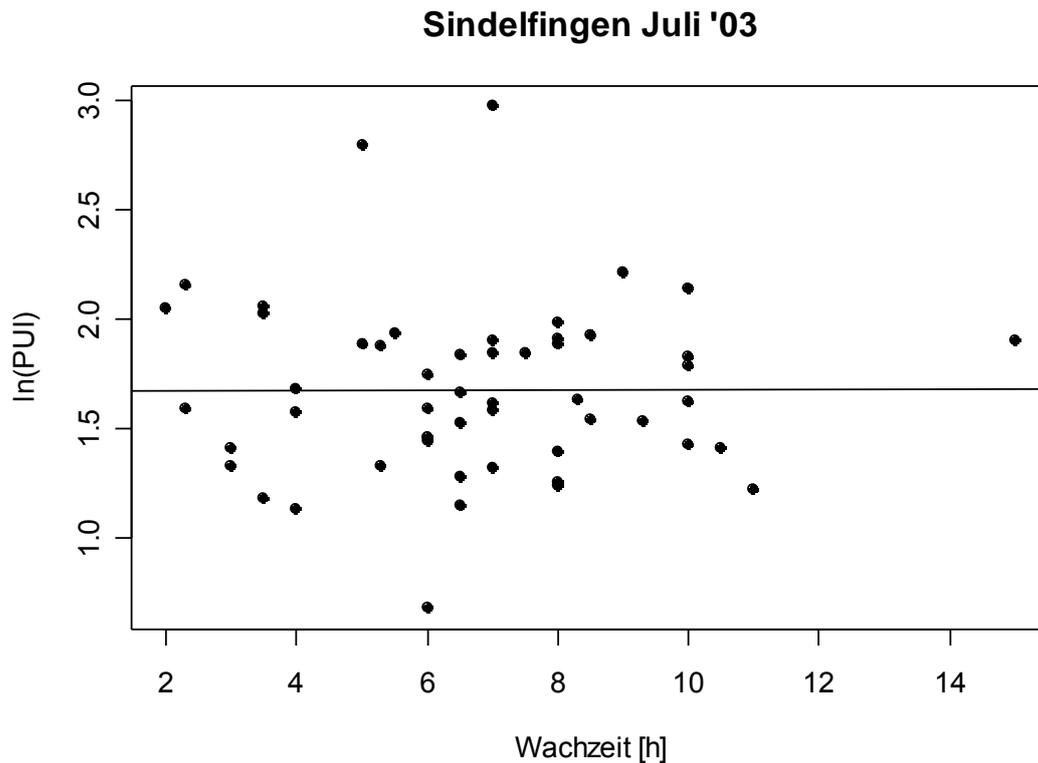


Abb.15: Abhängigkeit des InPUI von der Wachzeit.

3.1.13 Abhängigkeit des InPUI vom Nachtschlaf

Es konnte ein Einfluss des Nachtschlafs auf den InPUI gezeigt werden (Spearman: $N = 52$, $r = -0,33$, $p = 0,018$). Mit zunehmendem Nachtschlaf sinkt die objektiv gemessene Schläfrigkeit.

Sindelfingen Juli '03

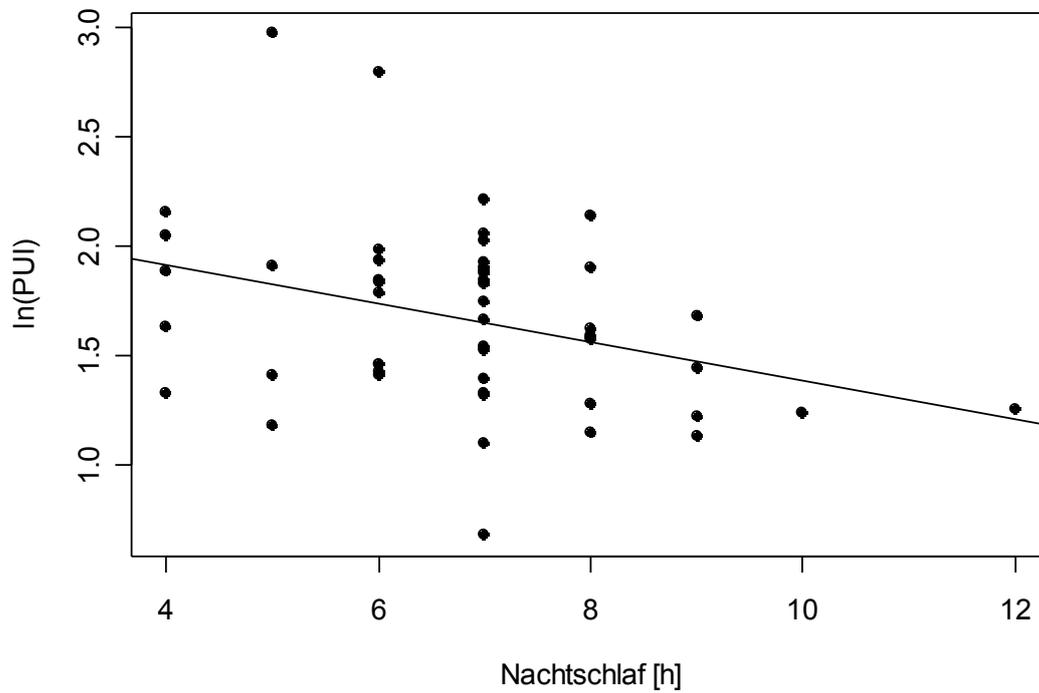


Abb.16: Abhängigkeit des lnPUI vom Nachtschlaf.

3.1.14 Abhängigkeit des lnPUI von der Koffeinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn

In dieser Studie konnte kein Effekt der Koffeinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn gezeigt werden. Die Mittelwerte in den beiden Gruppen, Koffeinkonsum in den letzten 4 Stunden ja/nein, liegen identisch bei 1,67 (t-Test, N = 43, p = 0,951).

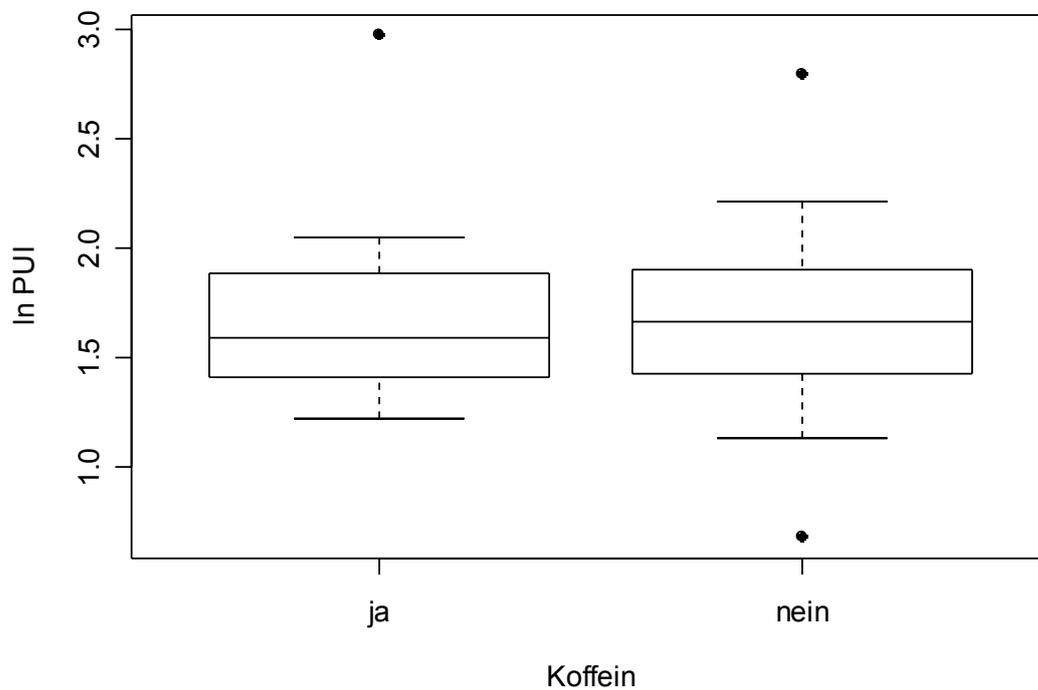


Abb.17: Auswirkung des Koffeinkonsums in den letzten 4 Stunden auf den lnPUI.

3.1.15 Abhängigkeit des lnPUI von der Nikotinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn

Es konnte keine Auswirkung der Nikotinaufnahme in den letzten 4 Stunden auf den lnPUI gezeigt werden (t-Test, N = 48, $p = 0,419$).

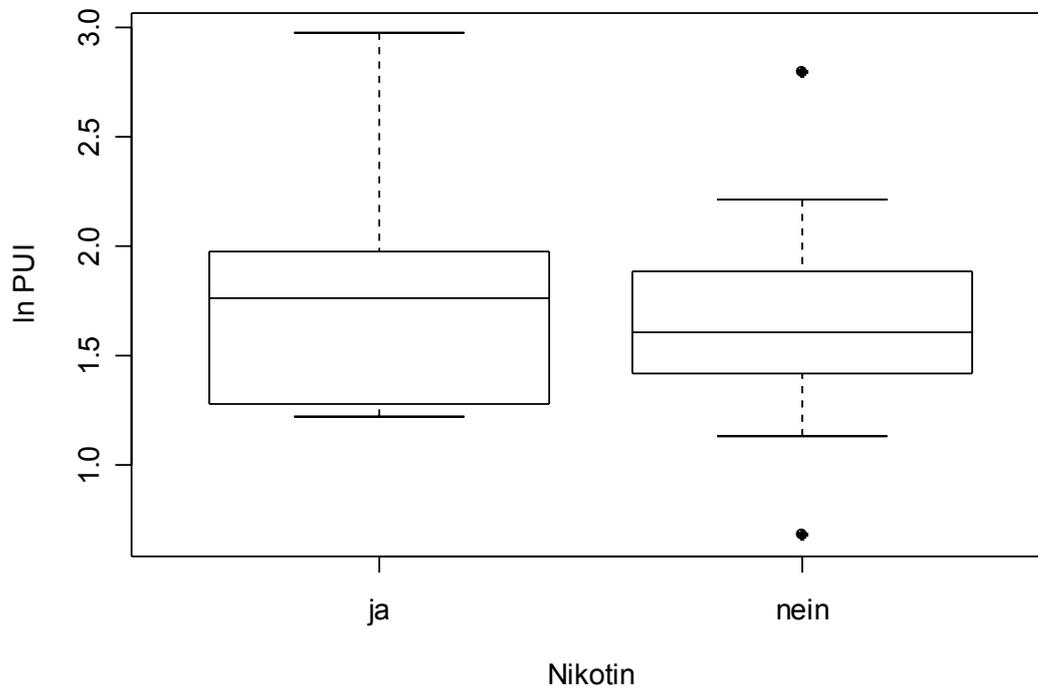


Abb.18: Auswirkung des Nikotinkonsums in den letzten 4 Stunden auf den lnPUI

3.2. Ergebnisse Sindelfingen - Oktober 2003

3.2.1 Einteilung der Schläfrigkeit nach PUI

Von insgesamt 40 untersuchten Probanden sind nach dem PUI (bzw. InPUI) 25 (62,5 %) Probanden als normal, 10 (25,0 %) als grenzwertig und 5 (12,5 %) als auffällig schläfrig zu bezeichnen.

Sindelfingen Oktober '03

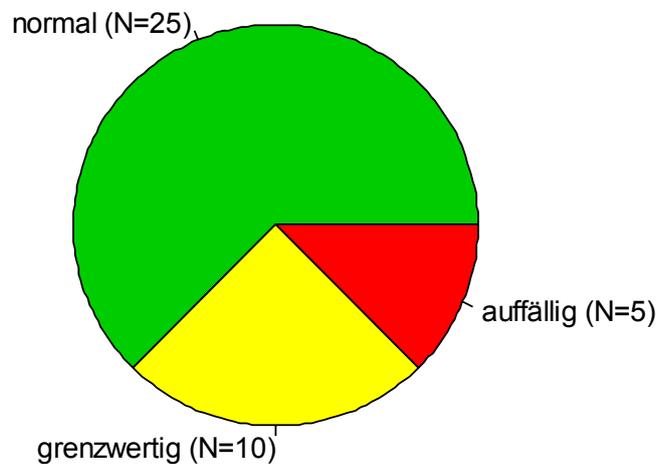


Abb.19: Klassifizierung der Schläfrigkeit nach PUI.

3.2.2 Mittelwert von InPUI und PUI

Der Mittelwert des InPUI der in Sindelfingen im Oktober 2003 gemessenen Probanden beträgt 1,62 mit einer Standardabweichung von 0,590. Der Mittelwert des PUI liegt bei 6,09 mit einem Minimum von 1,69 und einem Maximum von 22,69. Der Median beträgt 4,80.

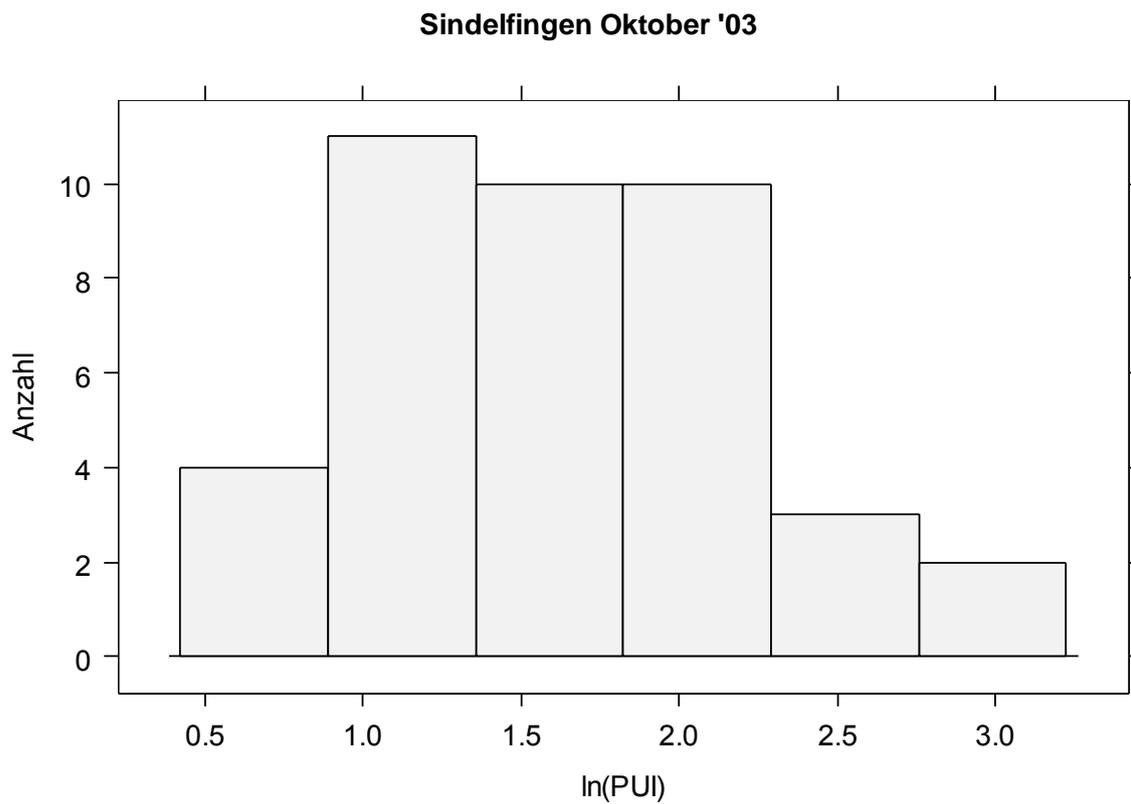


Abb.20: Verteilung des lnPUI.

3.2.3 Subjektive Schläfrigkeit (SSS)

Die meisten Probanden markierten die "2" auf der SSS. Die beiden Werte "6" und "7" wurden nie angegeben.

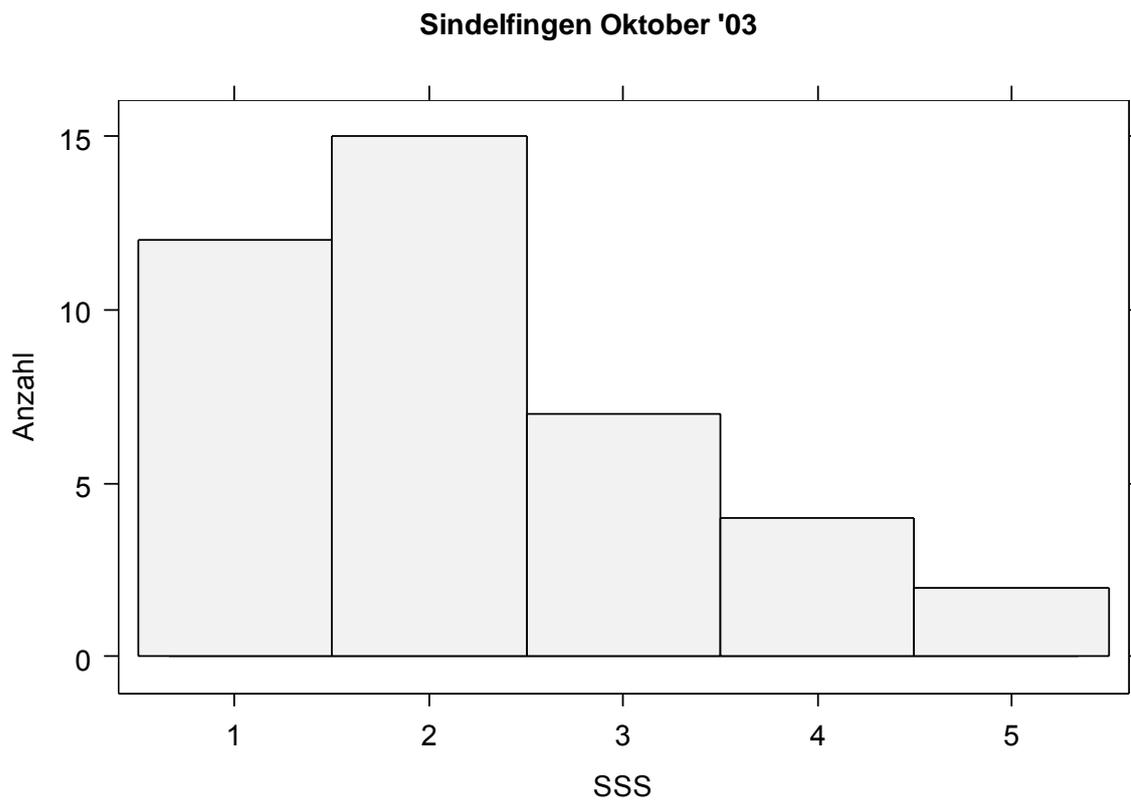


Abb.21: Verteilung der SSS-Werte.

3.2.4 Fahrzeugtyp

40 der insgesamt 56 Autofahrer fuhren einen PKW (71,4 %), 11 einen LKW (19,6 %). In fünf Fällen ist das Fahrzeug nicht bekannt.

3.2.5 Gefahrene Strecke

Zum Zeitpunkt der Messung waren die Probanden im Mittel 89,5 km gefahren. Die Standardabweichung betrug 32,2 km.

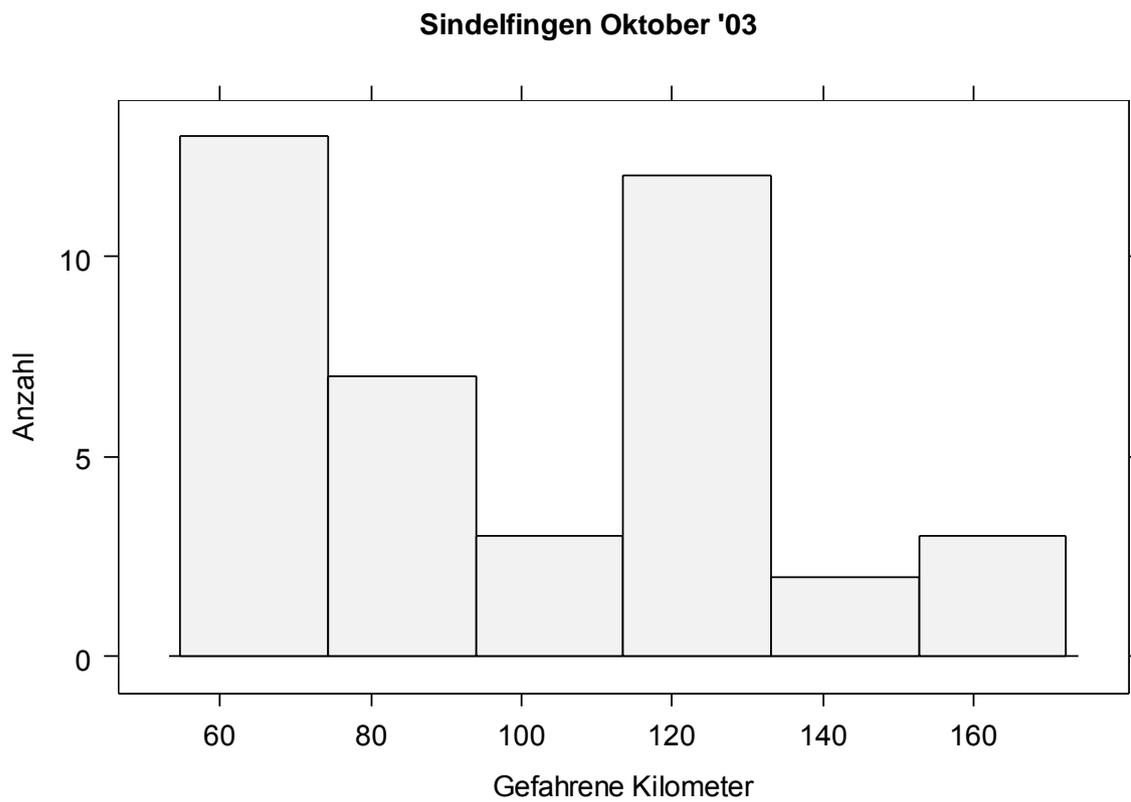


Abb.22: Verteilung der gefahrenen Strecke in km bis zur Messung.

3.2.6 Wachzeit vor der Messung

Zum Messzeitpunkt waren die Autofahrer zwischen 2,5 und 11,5 Stunden lang wach. Der Median betrug 6,5 Stunden.

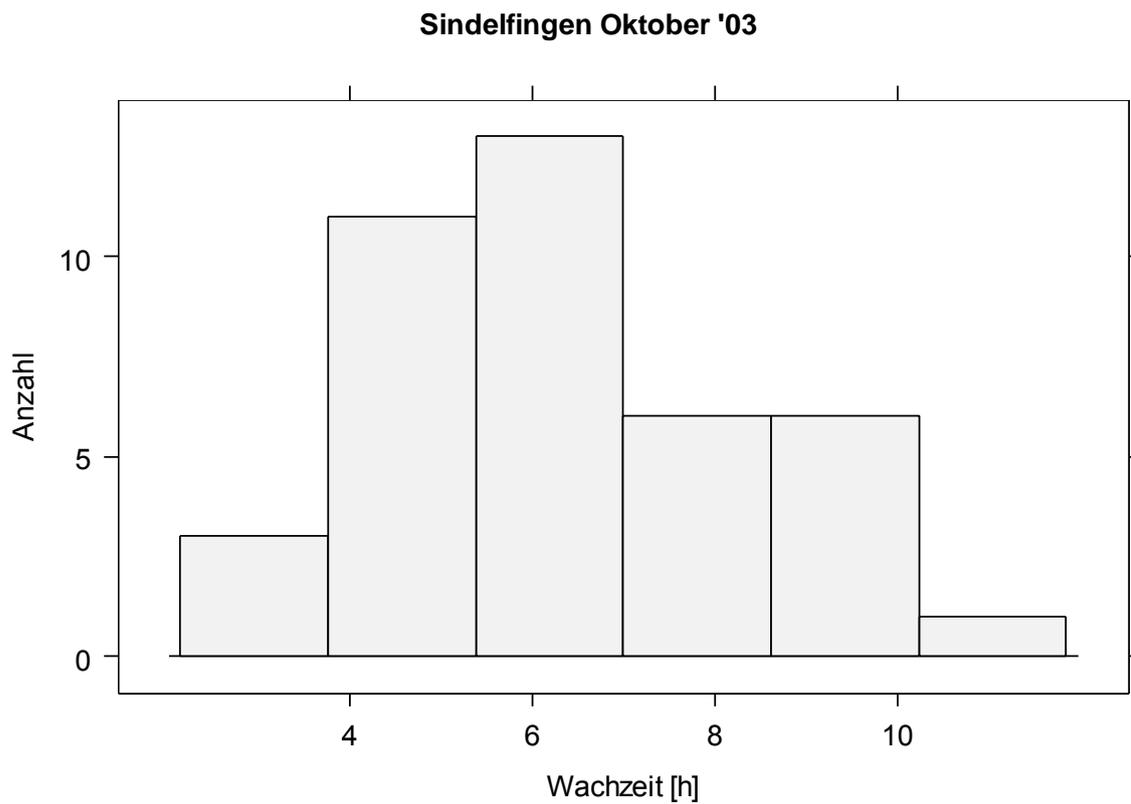


Abb.23: Verteilung der Wachzeit vor der Messung.

3.2.7 Dauer des Nachtschlafs in Stunden

Die von den Probanden angegebene Nachtschlafdauer betrug zwischen 3 und 10 Stunden bei einem Median von 7 Stunden. Die meisten Probanden gaben eine Nachtschlafdauer von 7 oder 8 Stunden an.

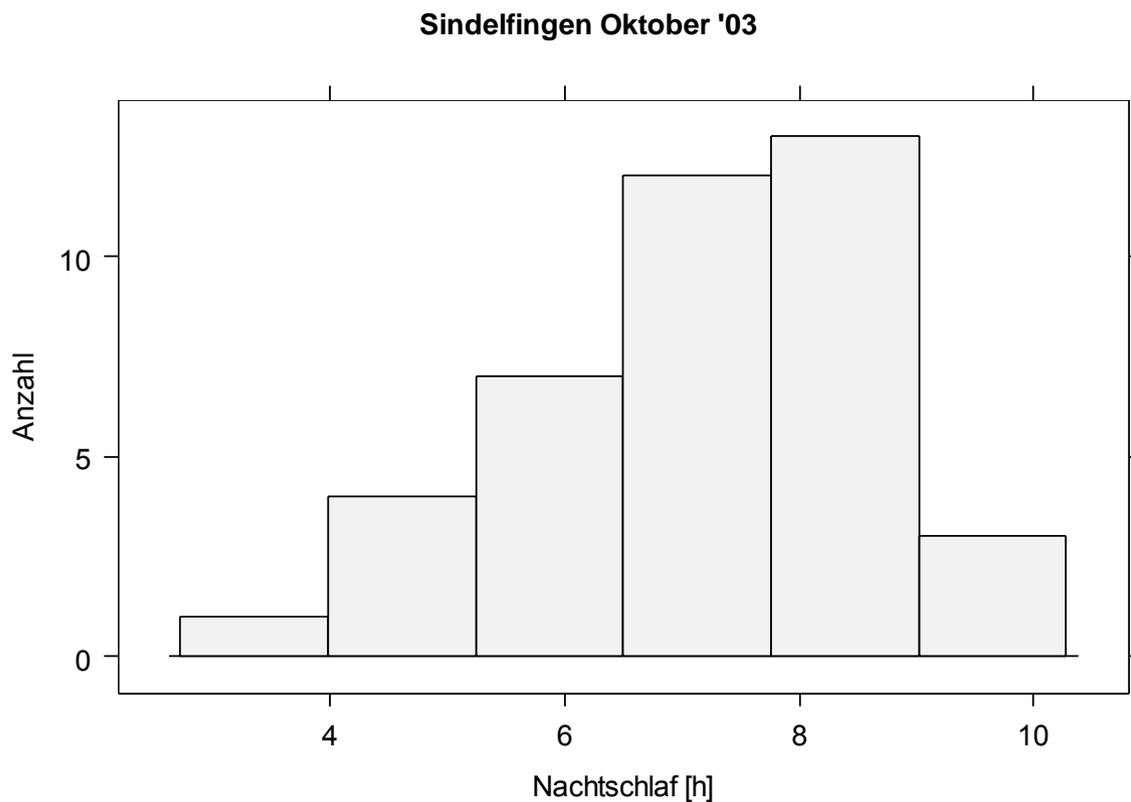


Abb.24: Verteilung der Nachtschlafdauer.

3.2.8 Koffein-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn

In den letzten 4 Stunden vor der Messung hatten genau die Hälfte (20 Probanden, 50,0 %) Koffein zu sich genommen; die andere Hälfte nicht.

3.2.9 Nikotin-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn

15 Probanden (37,5 %) hatten in den letzten 4 Stunden Nikotin konsumiert, während 24 Probanden (60,0 %) kein Nikotin zu sich genommen haben. Bei einem Probanden (2,5 %) fehlt diese Angabe.

3.2.10 Zusammenhang von subjektiver und objektiver Schläfrigkeit

Mittels der Spearman Rangkorrelation konnte ein positiver, signifikanter Zusammenhang zwischen der SSS und dem InPUI nachgewiesen werden

(Spearman: $N = 40$, $r = 0,34$, $p = 0,030$). Mit steigender subjektiver Schläfrigkeit steigt die mittels des PST objektiv gemessene Schläfrigkeit an.

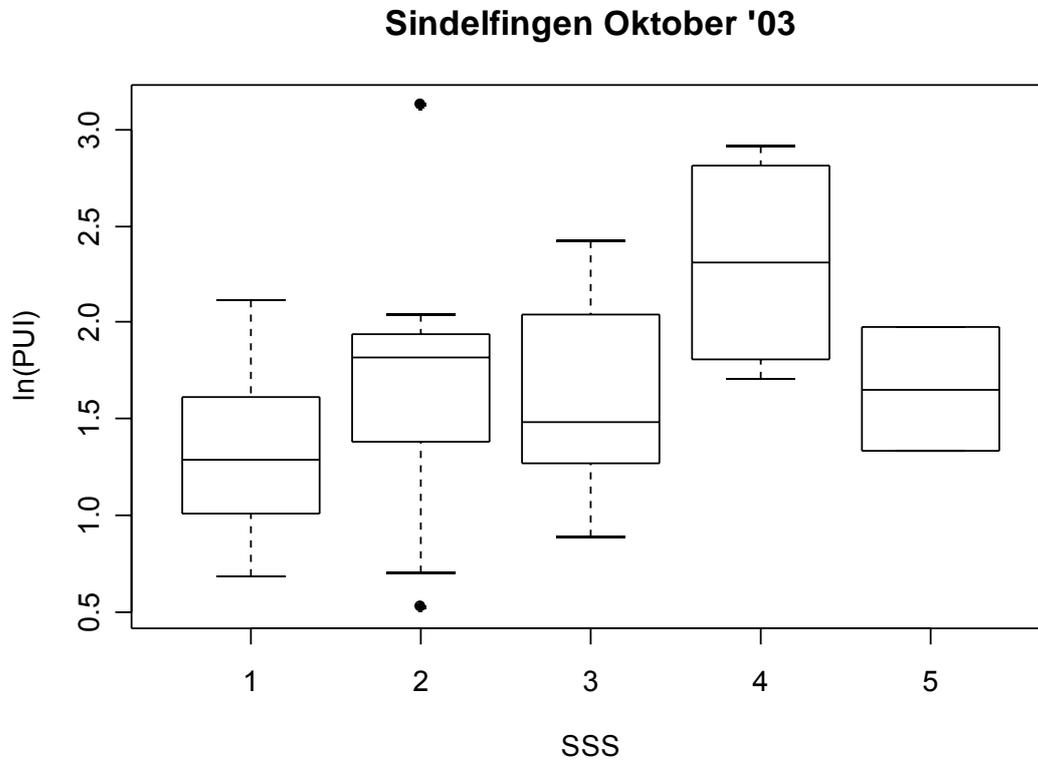


Abb.25: Abhängigkeit des lnPUI von der SSS. Dargestellt sind Boxplots.

3.2.11 Abhängigkeit des lnPUI von der Fahrtstrecke

Zwischen der zurückgelegten Fahrtstrecke und der Schläfrigkeit konnte anhand des lnPUI keine Beziehung aufgezeigt werden (Spearman: $N = 40$, $r = -0,07$, $p = 0,66$).

Sindelfingen Oktober '03

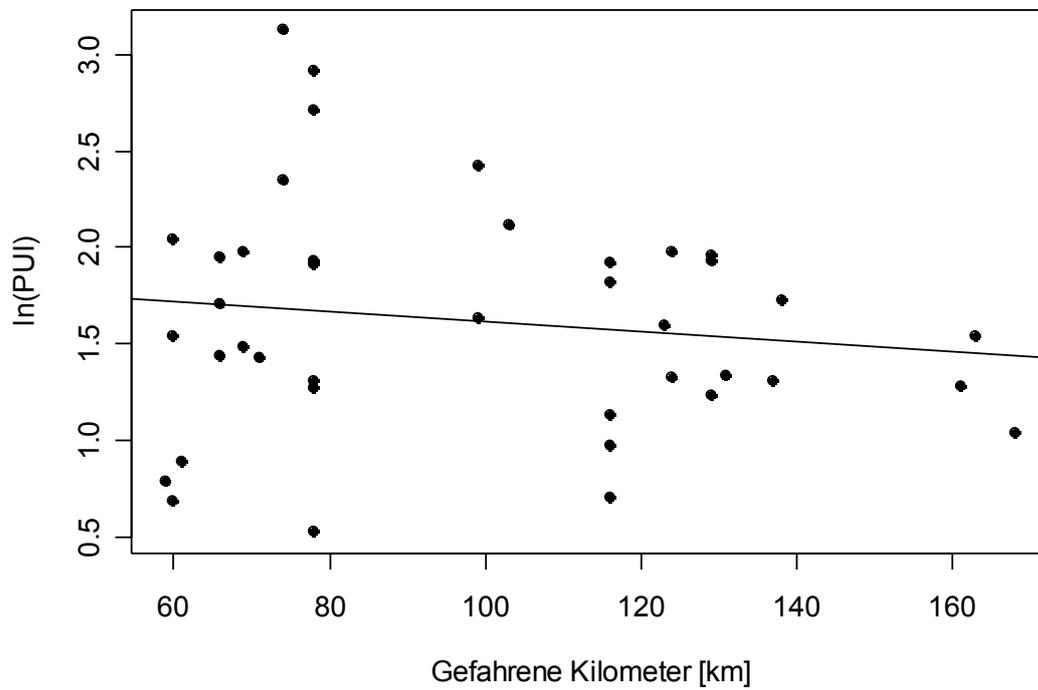


Abb.26: Abhängigkeit des lnPUI von der Fahrtstrecke.

3.2.12 Abhängigkeit des lnPUI von der Wachtzeit

Einen Zusammenhang mit dem lnPUI bezüglich der Wachtzeit konnte nicht gezeigt werden (Spearman: $N = 40$, $r = 0,15$, $p = 0,36$).

Sindelfingen Oktober '03

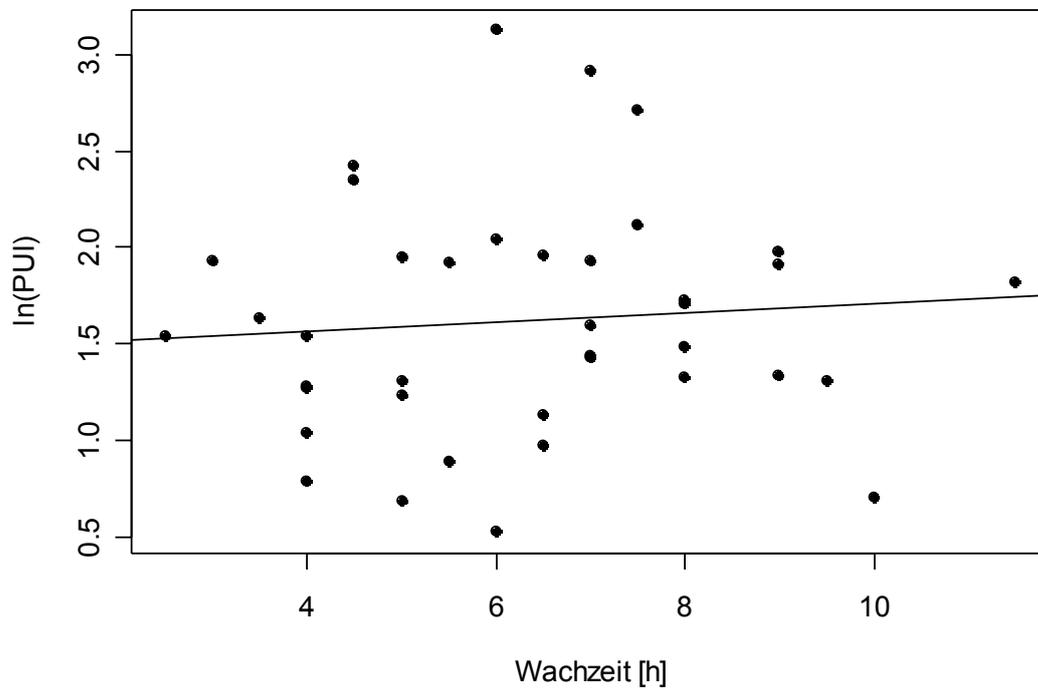


Abb.27: Abhängigkeit des lnPUI von der Wachzeit.

3.2.13 Abhängigkeit des lnPUI vom Nachtschlaf

Es konnte kein Einfluss des Nachtschlafs auf den lnPUI nachgewiesen werden (Spearman: $N = 40$, $r = 0,01$, $p = 0,93$).

Sindelfingen Oktober '03

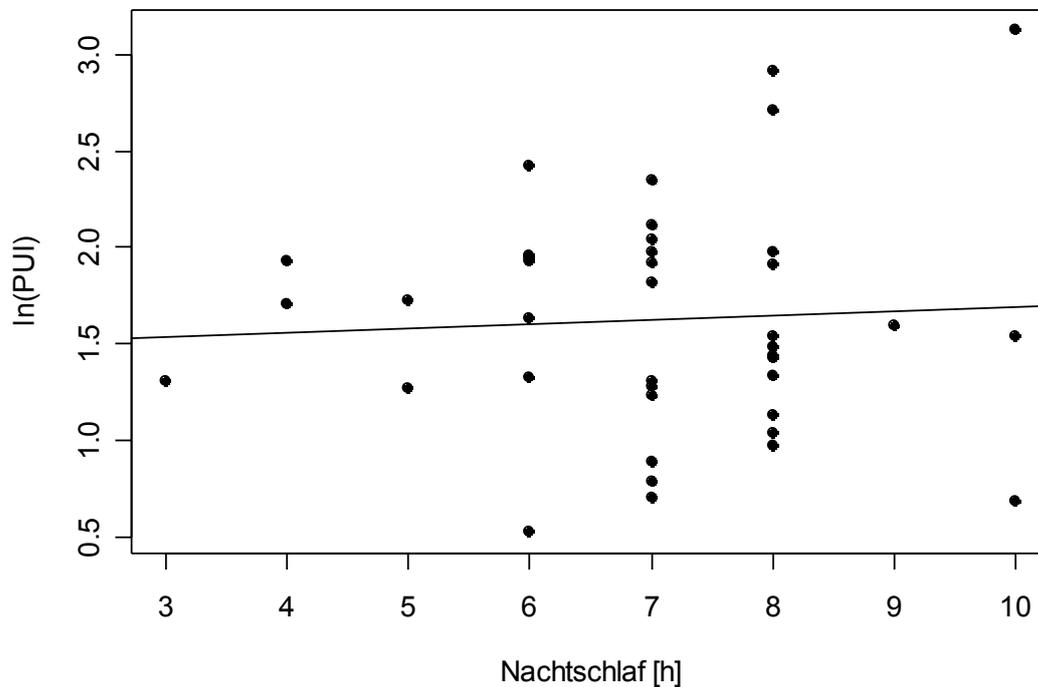


Abb.28: Abhängigkeit des lnPUI vom Nachtschlaf.

3.2.14 Abhängigkeit des lnPUI von der Koffeinaufnahme in den letzten 4 h vor Messbeginn

In dieser Studie konnte ein Effekt der Koffeinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn gezeigt werden. Die Mittelwerte in den beiden Gruppen, Koffeinkonsum in den letzten 4 Stunden ja/nein, liegen bei 1,34 und 1,91 (t-Test, N = 40, p = 0,001). Die Probanden, die angaben, kein Koffein in den letzten 4 Stunden konsumiert zu haben, sind bezüglich des lnPUI um 0,57 schläfriger als die Probanden mit Koffeinkonsum.

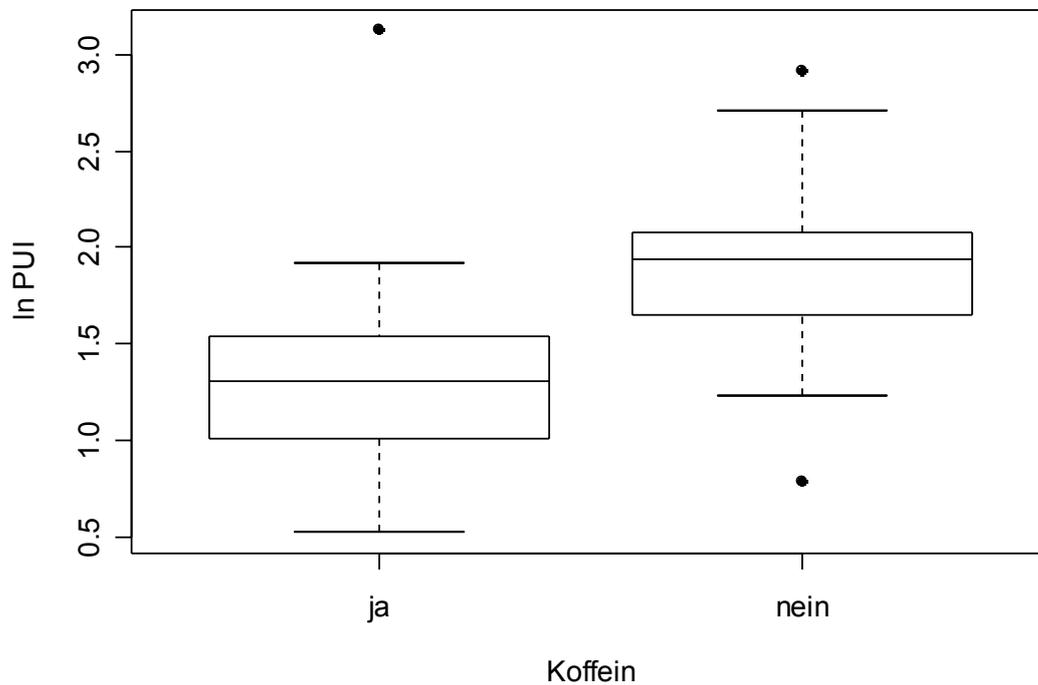


Abb.29: Auswirkung des Koffeinkonsums in den letzten 4 Stunden auf den lnPUI.

3.2.15 Abhängigkeit des lnPUI von der Nikotinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn

Es konnte keine Auswirkung des Rauchens in den letzten 4 Stunden auf den lnPUI gezeigt werden (t-Test, N = 39, $p = 0,65$).

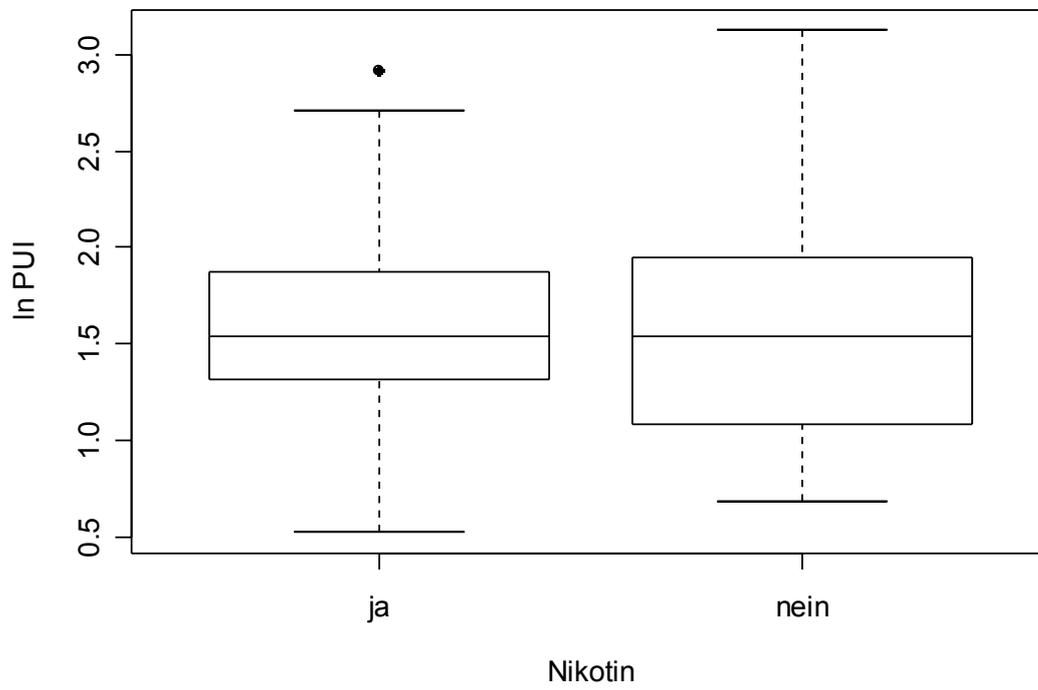


Abb.30: Auswirkung des Nikotinkonsums in den letzten 4 Stunden auf den lnPUI.

3.3 Ergebnisse Leipzig – August 2004

3.3.1 Einteilung der Schläfrigkeit nach PUI

Von insgesamt 63 untersuchten Probanden sind nach dem PUI (bzw. InPUI) 27 (42,9 %) Probanden als normal, 20 (31,7 %) als grenzwertig und 16 (25,4 %) als auffällig zu bezeichnen.

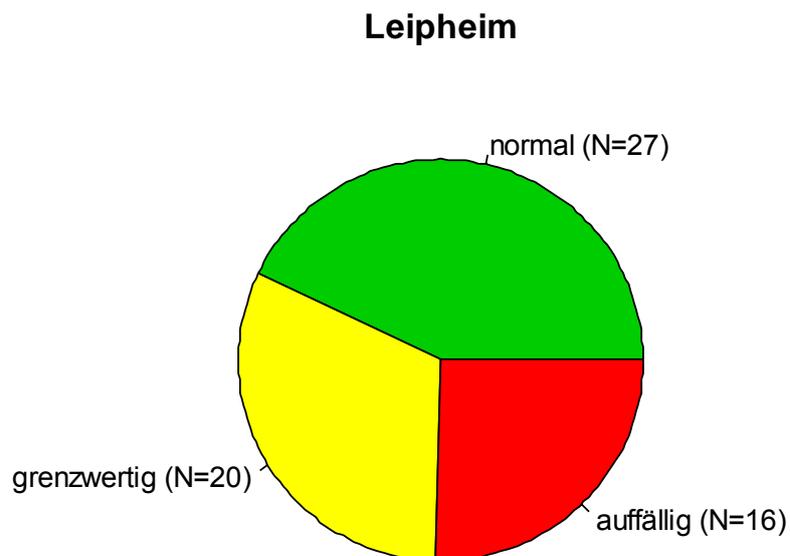


Abb.31: Klassifizierung der Schläfrigkeit nach PUI

3.3.2 Mittelwert von InPUI und PUI

Der Mittelwert des InPUI der in Leipzig gemessenen Probanden beträgt 1,93 mit einer Standardabweichung von 0,435. Der Mittelwert des PUI liegt bei 7,56 mit einem Minimum von 2,56 und einem Maximum von 15,41. Der Median beträgt 6,79.

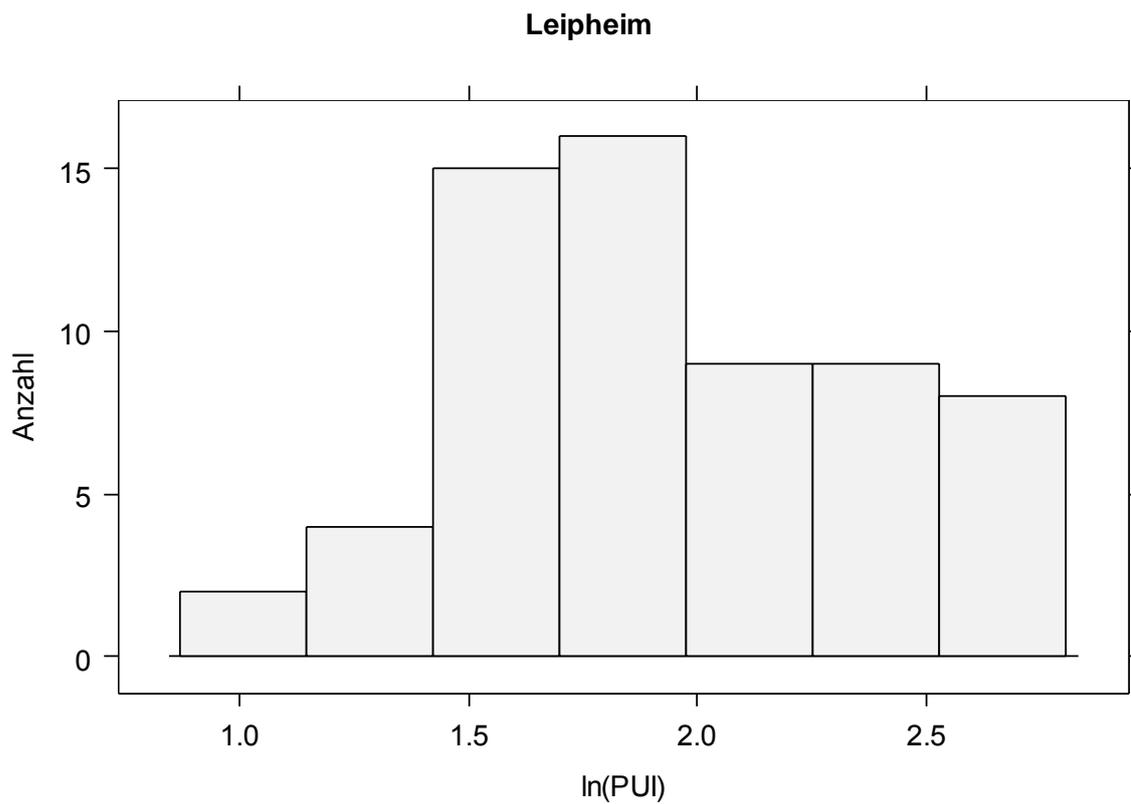


Abb.32: Verteilung des lnPUI

3.3.3 Subjektive Schläfrigkeitsskala (SSS)

Die meisten Probanden markierten die "2" auf der SSS. Das Extrem "7" kam nicht vor.

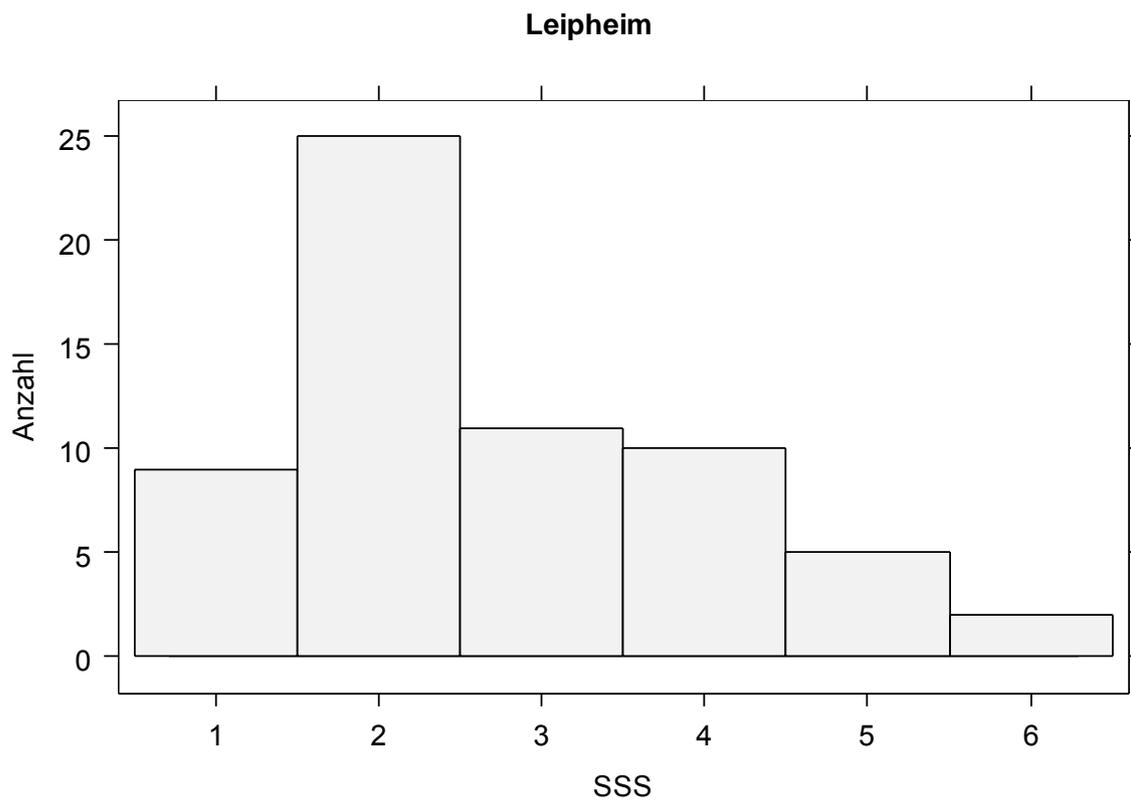


Abb.33: Verteilung der SSS-Werte

3.3.4 Fahrzeugtyp

56 der insgesamt 63 Probanden fahren einen PKW (88,9 %), 6 einen LKW (9,5 %). In einem Fall (1,6 %) ist das Fahrzeug nicht bekannt.

3.3.5 Gefahren Strecke

Zum Zeitpunkt der Messung waren die Probanden im Mittel 96,6 km gefahren. Die Standardabweichung betrug 35,7 km.

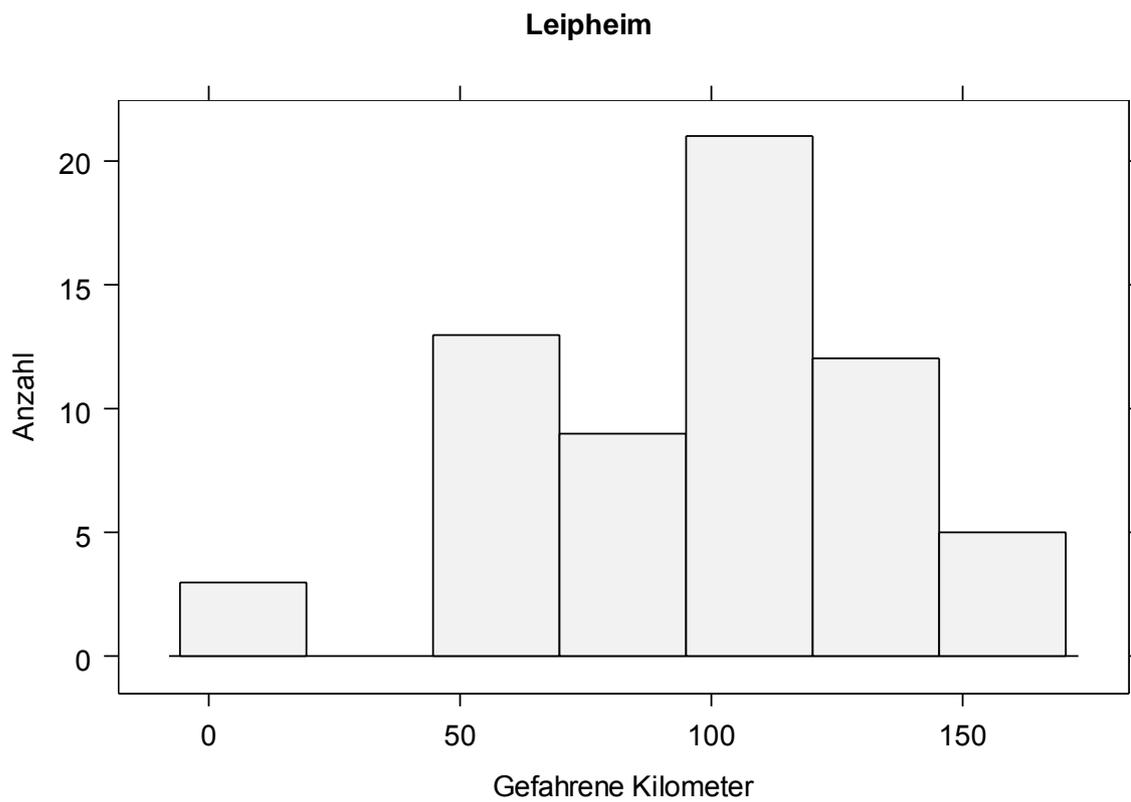


Abb.34: Verteilung der gefahrenen Strecke in km bis zur Messung

3.3.6 Wachzeit vor der Messung

Zum Messzeitpunkt waren die Autofahrer zwischen 2 und 13 Stunden lang wach. Der Median betrug 6,25 Stunden. In einem Fall fehlte diese Angabe.

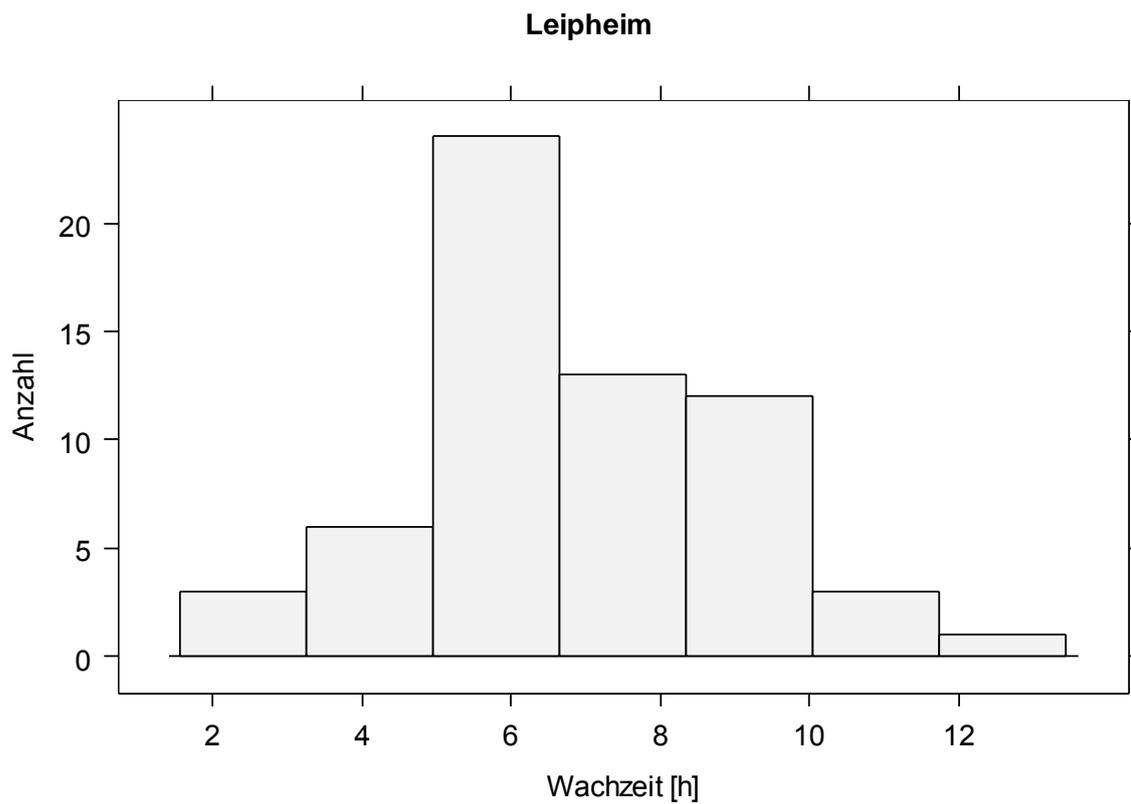


Abb.35: Verteilung der Wachzeit vor der Messung.

3.3.7 Dauer des Nachtschlafs in Stunden

Die von den Probanden angegebene Nachtschlafdauer betrug zwischen 1 und 10 Stunden bei einem Median von 7 Stunden. Die meisten Probanden gaben eine Nachtschlafdauer von 7 Stunden an. Von 2 Probanden lag keine Angabe vor.

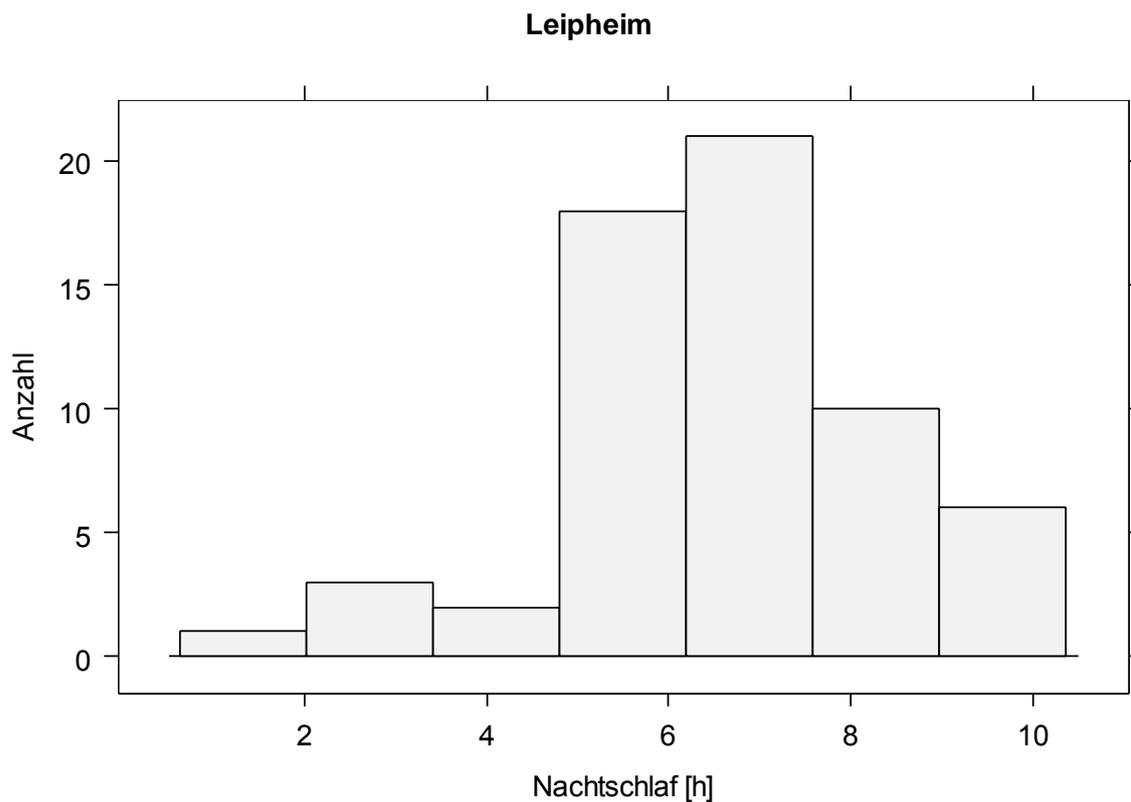


Abb.36: Verteilung der Nachtschlafdauer.

3.3.8 Koffein-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn

In den letzten 4 Stunden vor der Messung hatten 23 Probanden (36,5 %) Koffein (Kaffee, Tee,...) zu sich genommen; 39 (61,9 %) nicht. Bei einem Probanden (1,6 %) fehlt diese Angabe.

3.3.9 Nikotin-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn

17 Probanden (27,0 %) hatten in den letzten 4 Stunden Nikotin konsumiert, während 45 Probanden (71,4 %) kein Nikotin zu sich genommen haben. Bei einem Probanden (1,6 %) fehlt die Angabe.

3.3.10 Zusammenhang von subjektiver und objektiver Schläfrigkeit

Mittels der Spearman Rangkorrelation konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der SSS und dem lnPUI nachgewiesen werden. In der Abbildung 13 wird ebenfalls kein Trend zwischen der SSS und dem lnPUI deutlich.

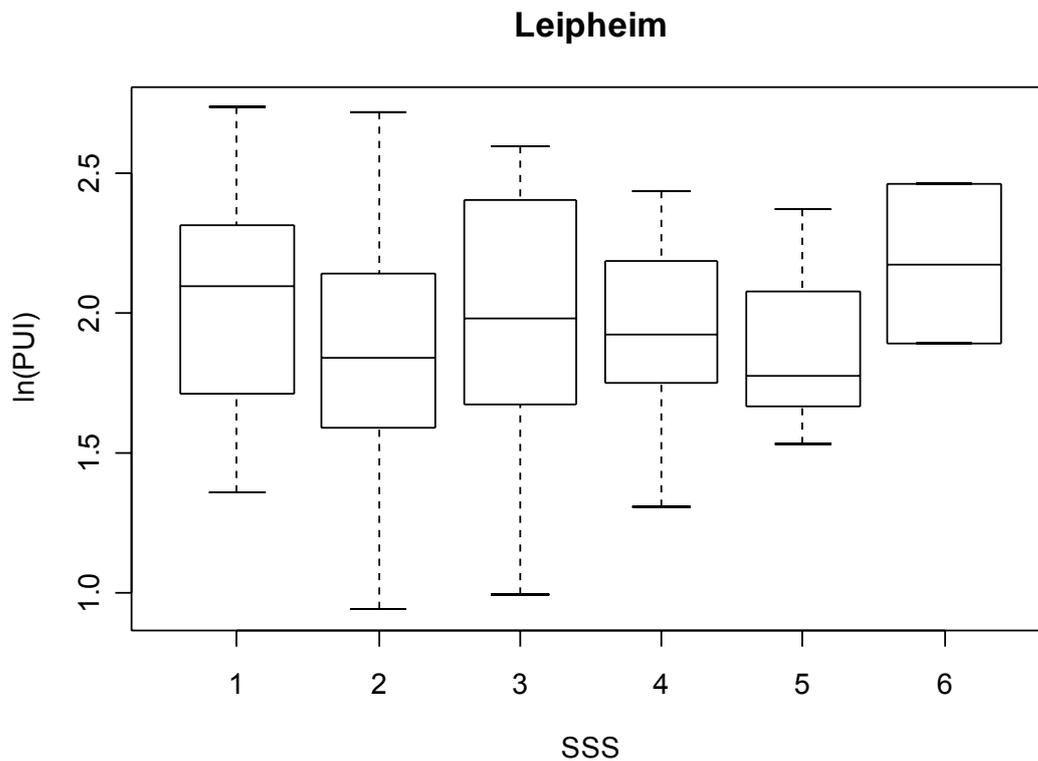


Abb.37: Abhängigkeit des lnPUI von der SSS. Dargestellt sind Boxplots.

3.3.11 Abhängigkeit des lnPUI von der Fahrtstrecke

Zwischen der zurückgelegten Fahrtstrecke und der Schläfrigkeit konnte anhand des lnPUI keine Beziehung aufgezeigt werden (Spearman: $N = 63$, $r = -0,08$, $p = 0,52$).

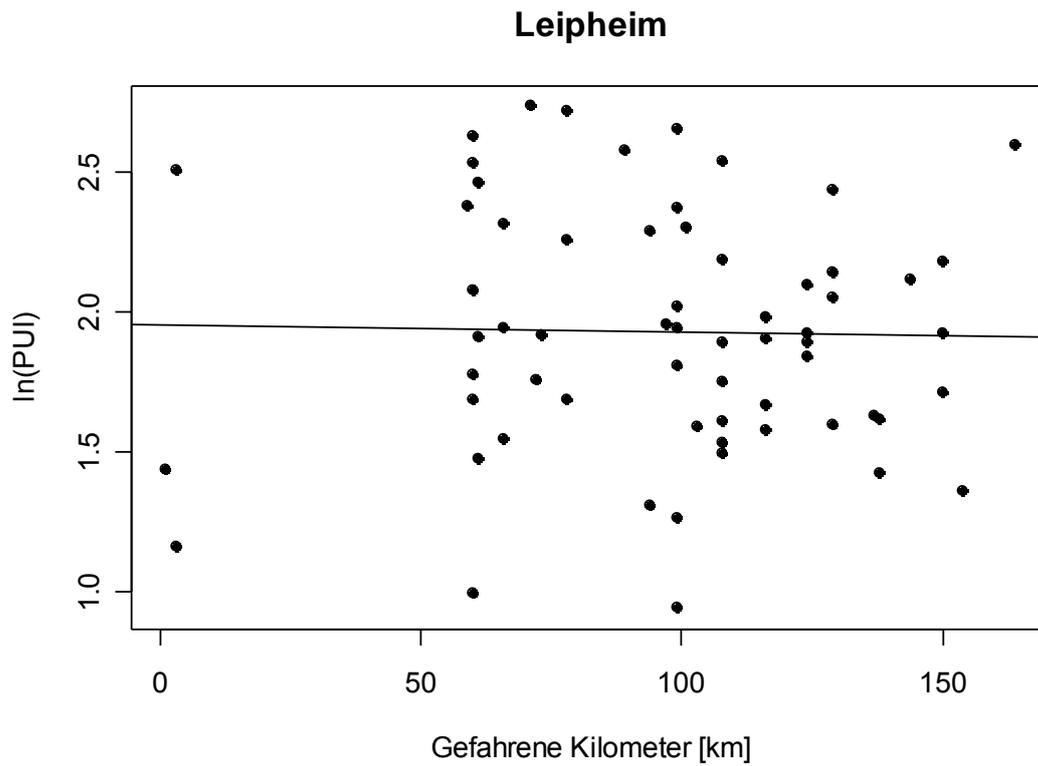


Abb.38: Abhängigkeit des lnPUI von der Fahrtstrecke

3.3.12 Abhängigkeit des lnPUI von der Wachtzeit

Einen Zusammenhang mit dem lnPUI bezüglich der Wachtzeit konnte nicht gezeigt werden (Spearman: $N = 62$, $r = -0,16$, $p = 0,22$).

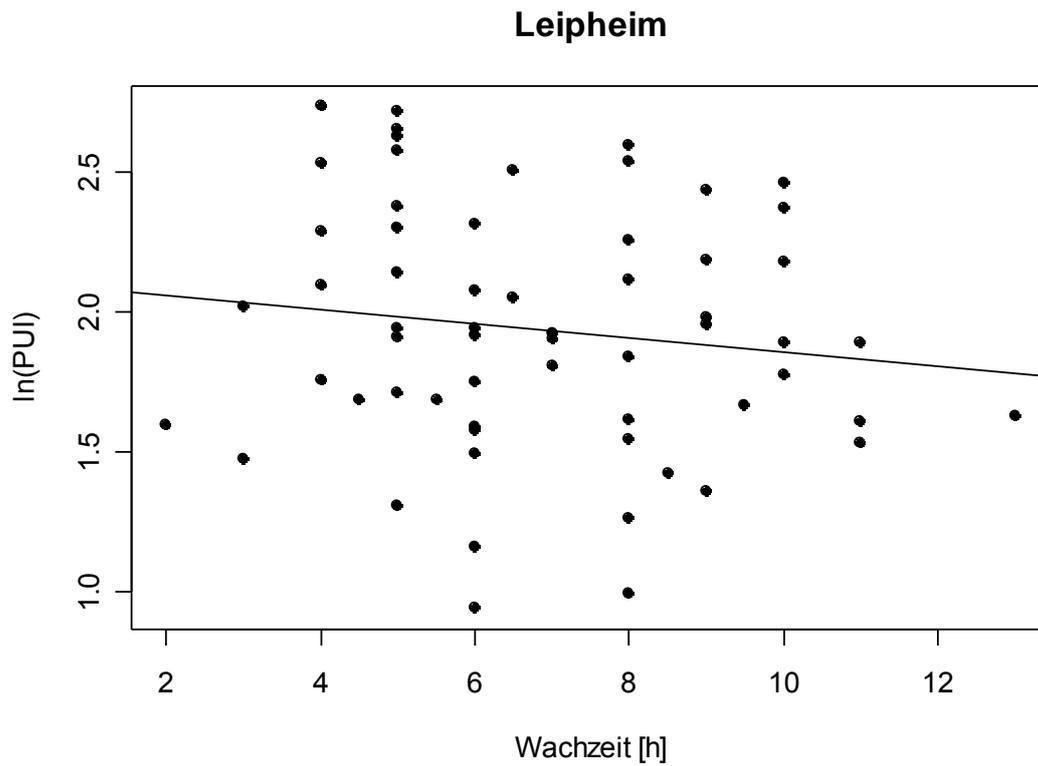


Abb.39: Abhängigkeit des lnPUI von der Wachzeit

3.3.13 Abhängigkeit des lnPUI vom Nachtschlaf

Es konnte kein Einfluss des Nachtschlafs auf den lnPUI nachgewiesen werden (Spearman: $N = 61$, $r = 0,09$, $p = 0,48$).

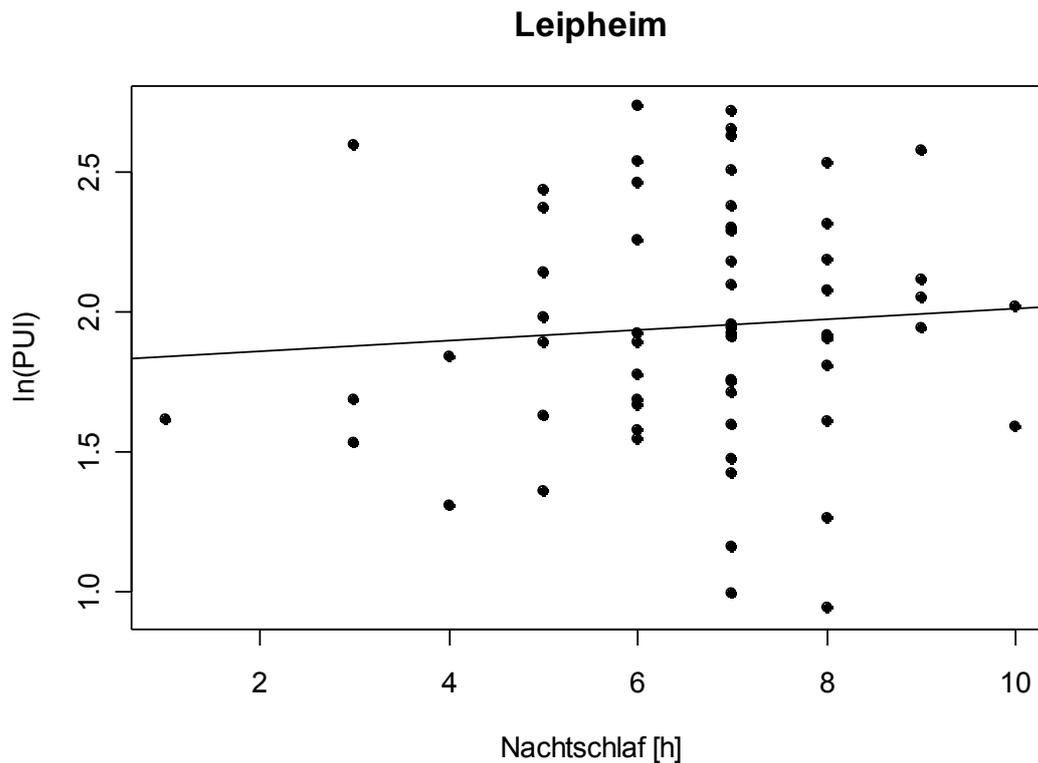


Abb.40: Abhängigkeit des lnPUI vom Nachtschlaf.

3.3.14 Abhängigkeit des lnPUI von der Koffeinaufnahme in den letzten 4 h vor Messbeginn

In dieser Studie konnte kein Effekt der Koffeinaufnahme innerhalb von 4 Stunden vor Messbeginn gezeigt werden. Die Mittelwerte in den beiden Gruppen, Koffeinkonsum in den letzten 4 Stunden ja/nein, liegen mit 1,93 und 1,94 nur minimal auseinander (t-Test, N = 62, $p = 0,877$).

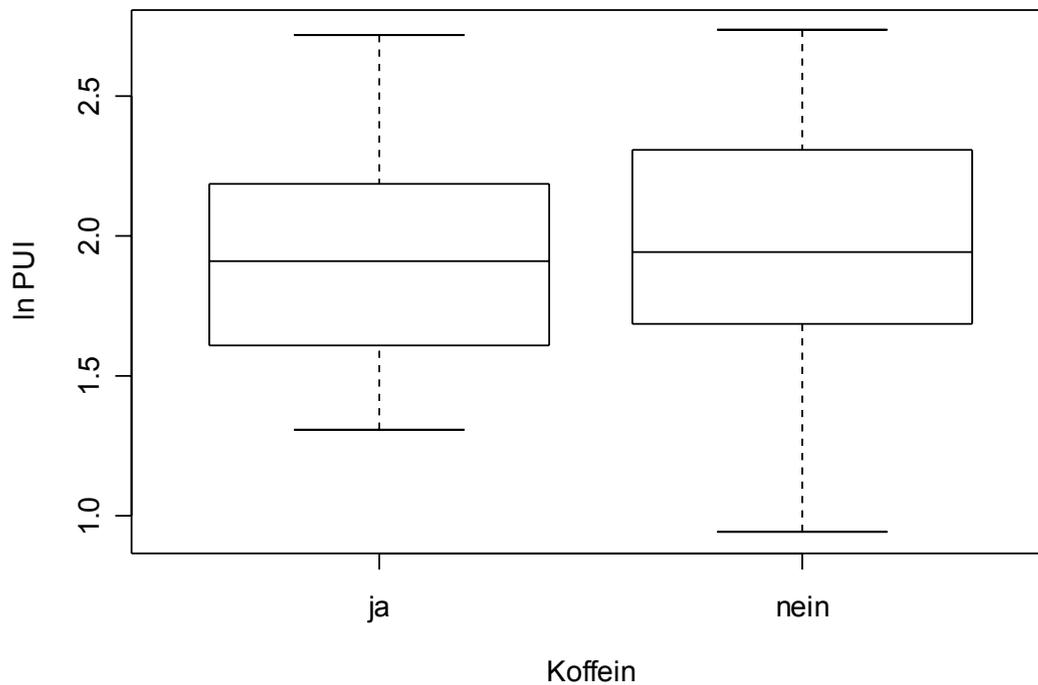


Abb.41: Auswirkung des Koffeinkonsums in den letzten 4 Stunden auf den lnPUI.

3.3.15 Abhängigkeit des lnPUI von der Nikotinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn

Es konnte keine Auswirkung der Nikotinaufnahme in den letzten 4 Stunden auf den lnPUI gezeigt werden (t-Test, N = 62, $p = 0,670$).

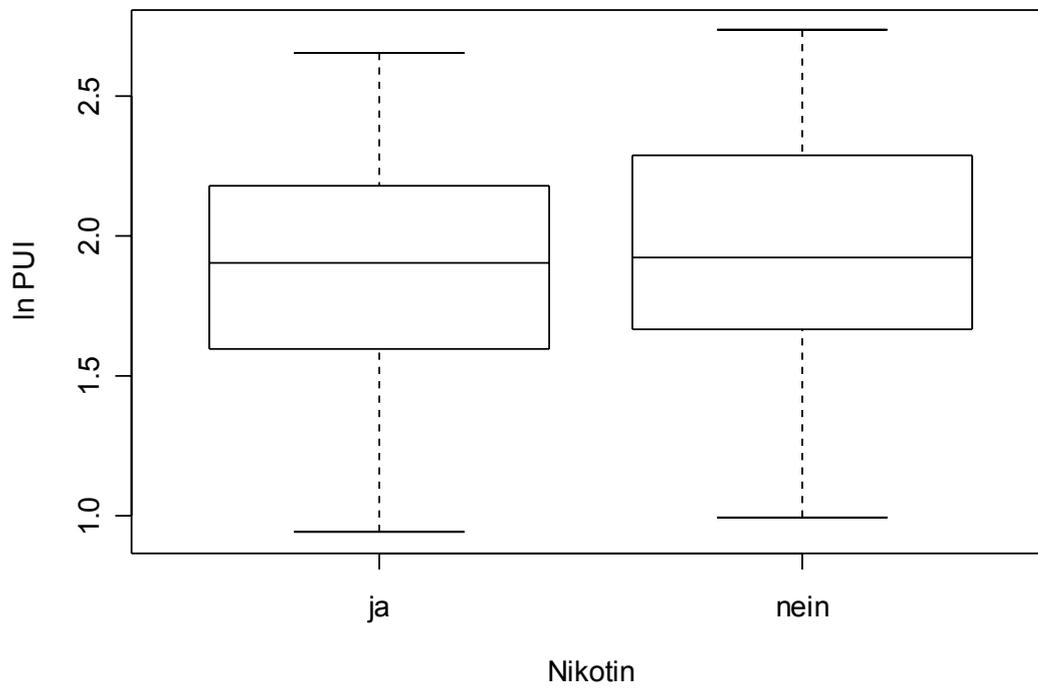


Abb.42: Auswirkung des Nikotinkonsums in den letzten 4 Stunden auf den lnPUI

3.4 Ergebnisse - alle Studien

Im Folgenden werden die Daten aller drei Autobahnstudien gemeinsam betrachtet.

3.4.1 Einteilung der Schläfrigkeit nach PUI

Von insgesamt 159 Verkehrsteilnehmern in drei Studien sind nach dem PUI (bzw. InPUI) 94 (59,1 %) Probanden als normal, 42 (26,4 %) als grenzwertig und 23 (14,5 %) als auffällig schläfrig zu bezeichnen.

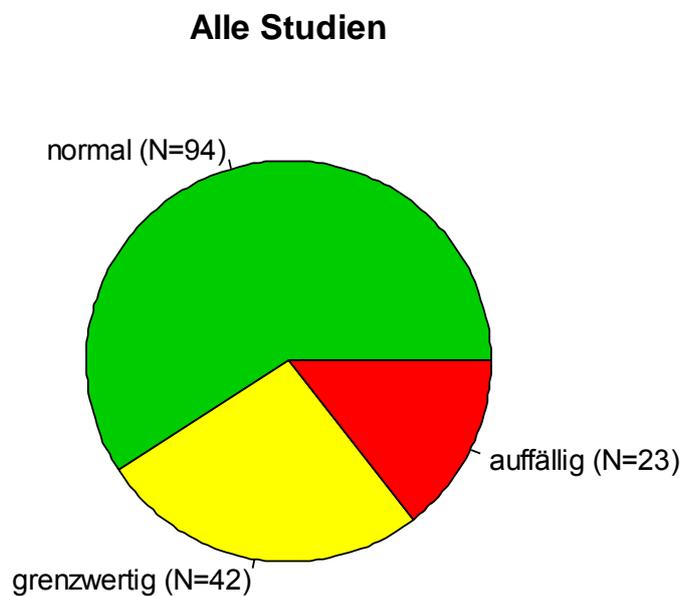


Abb.43: Klassifizierung der Schläfrigkeit nach PUI.

3.4.2 Mittelwerte von InPUI und PUI

Der Mittelwert des InPUI aller gemessenen Fahrer beträgt 1,75 mit einer Standardabweichung von 0,491. Der Mittelwert des PUI liegt bei 6,53 mit einem Minimum von 1,69 und einem Maximum von 22,69. Der Median beträgt 5,75.

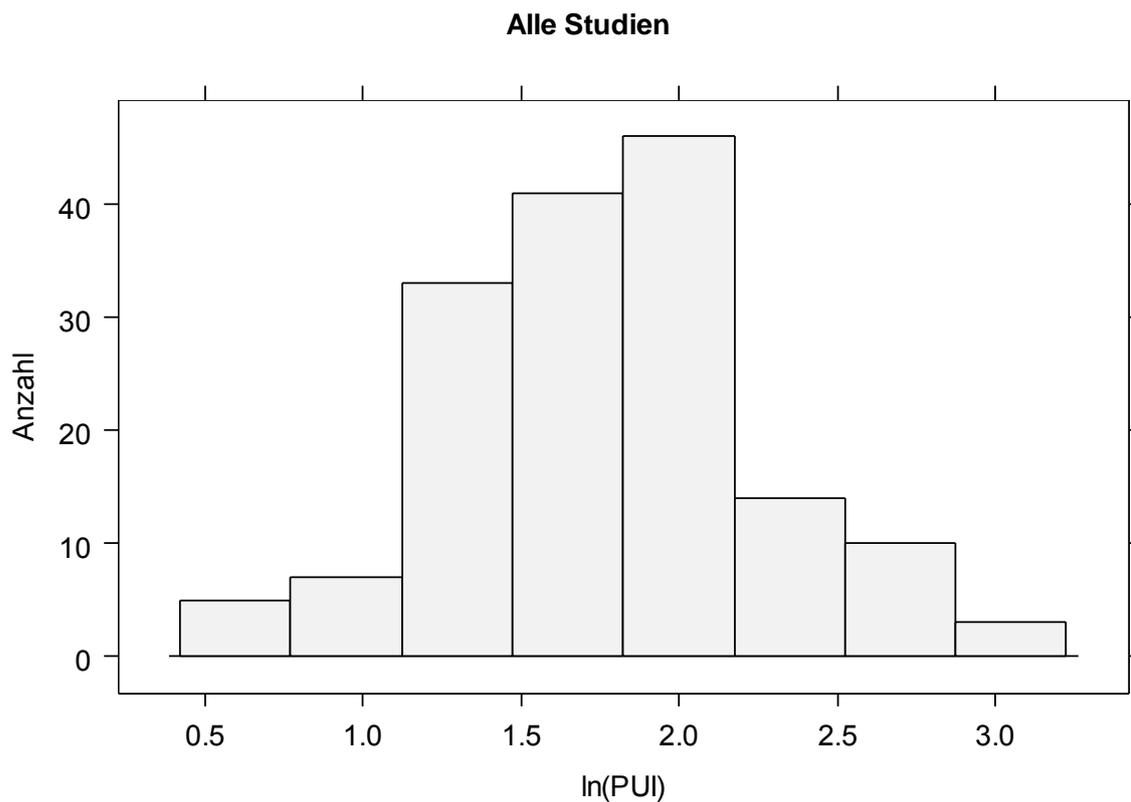


Abb.44: Verteilung des lnPUI.

3.4.3 Der PUI in den verschiedenen Studien

Der lnPUI in den drei Studien unterscheidet sich signifikant (ANOVA, $N = 159$, $p < 0,001$). Zwischen den beiden Studien in Sindelfingen und den Messungen in Leipzig gibt es jeweils signifikante Unterschiede. Die 95%- Konfidenzintervalle betragen für den Unterschied im Juli -0,48 bis -0,08 und im Oktober -0,53 bis -0,08.

In PUI - AB-Studien

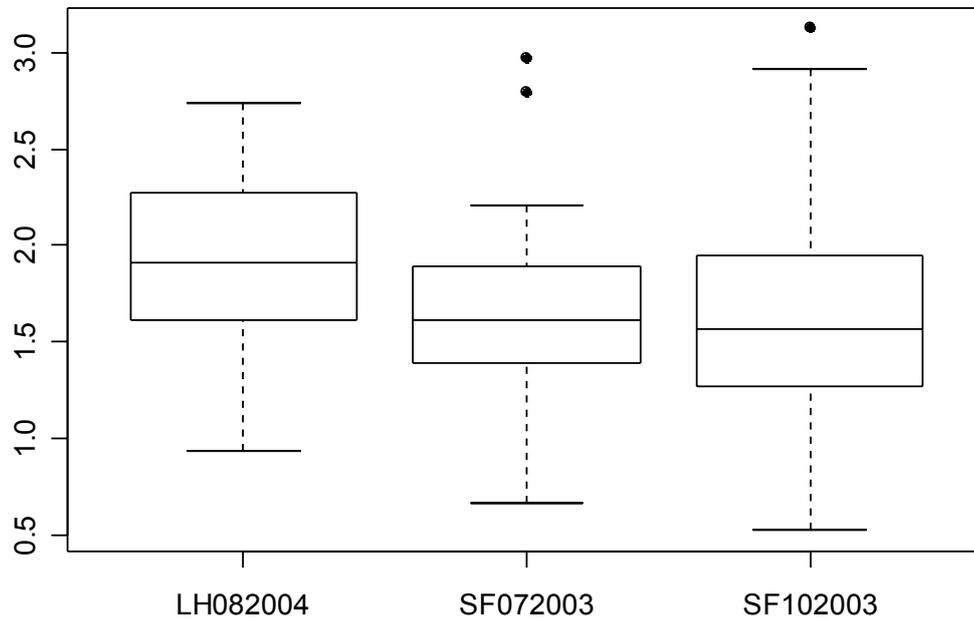


Abb.45: InPUI in den 3 Studien: LH082004: Leipheim, SF072003: Sindelfingen Juli 2003, SF102003: Sindelfingen Oktober 2003.

3.4.4 Subjektive Schläfrigkeitsskala (SSS)

Die meisten Probanden markierten die "2" auf der SSS. Das Extrem "7" wurde nie angegeben.

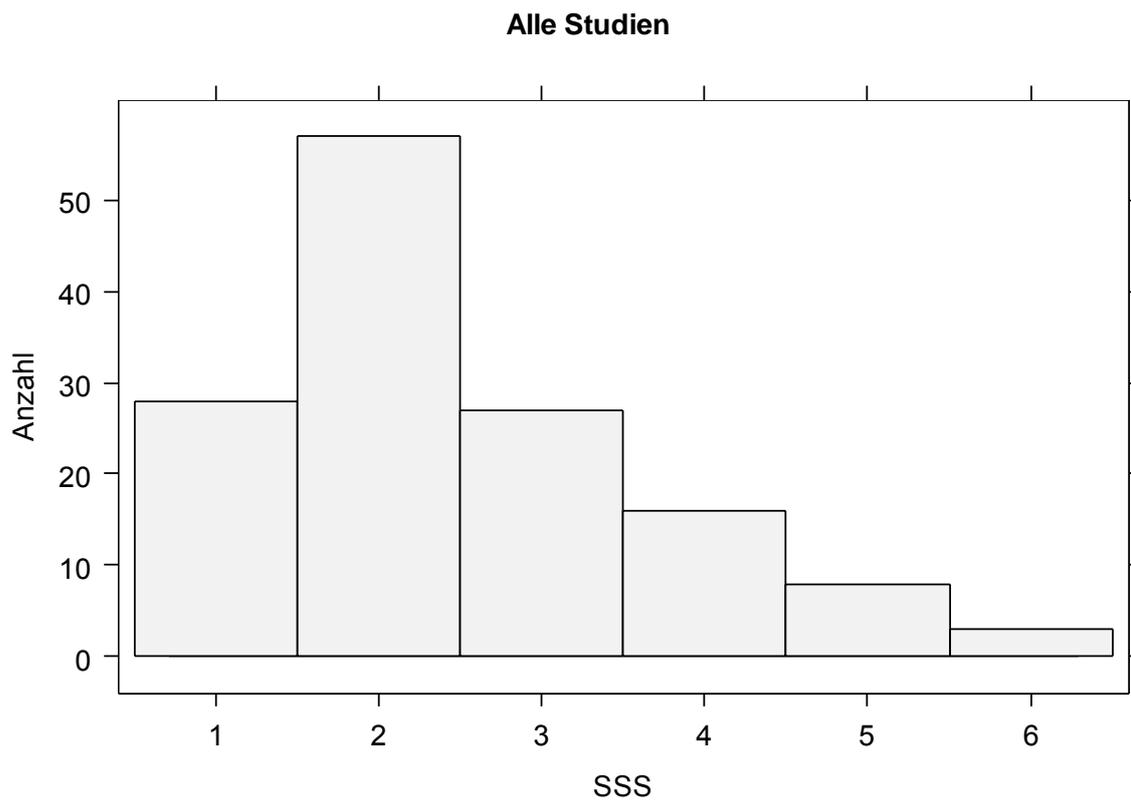


Abb.46: Verteilung der SSS-Werte.

3.4.5 Fahrzeugtyp

Von den insgesamt 159 Probanden fuhren 131 Probanden (82,4 %) einen PKW, 21 (13,2 %) einen LKW. In sieben Fällen (4,4 %) ist das Fahrzeug nicht bekannt.

3.4.6 Gefahrene Strecke

Zum Zeitpunkt der Messung waren die Probanden im Mittel 95,7 km gefahren. Die Standardabweichung betrug 38,9 km.

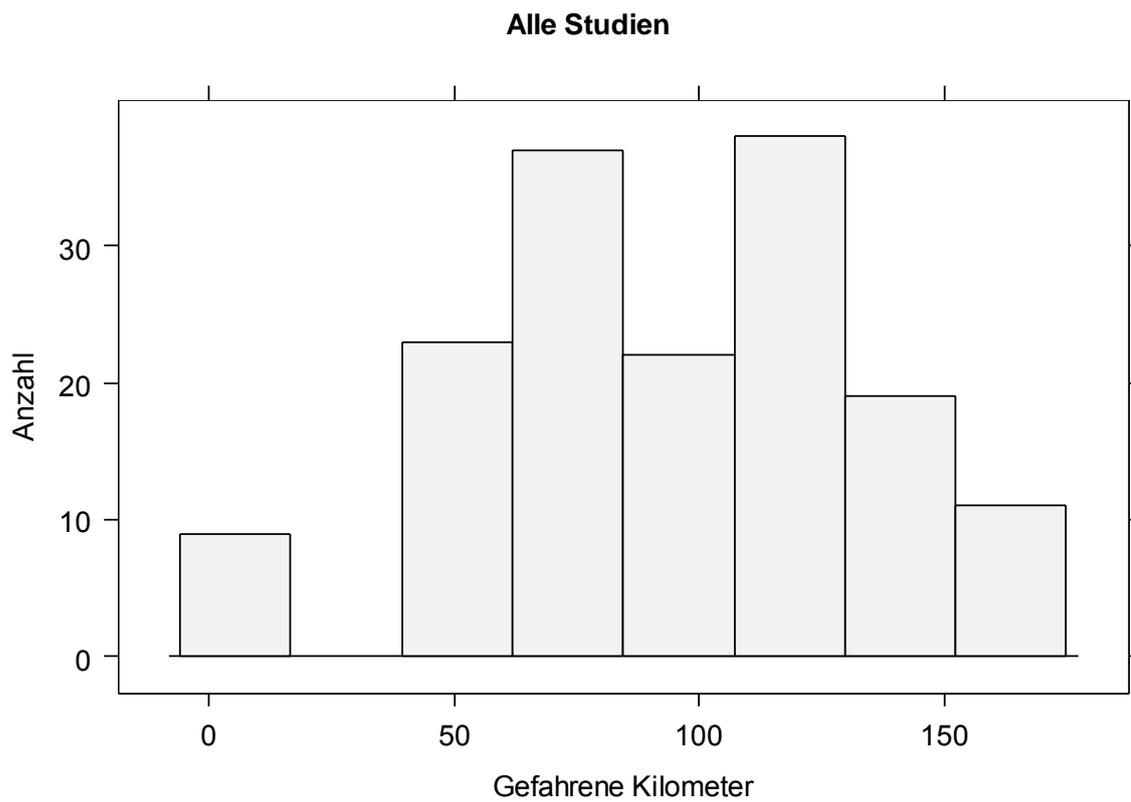


Abb.47: Verteilung der gefahrenen Strecke in km bis zur Messung.

3.4.7 Wachzeit vor der Messung

Zum Messzeitpunkt waren die Autofahrer zwischen 2 und 15 Stunden lang wach. Der Median betrug 6,5 Stunden. In vier Fällen fehlte diese Angabe.

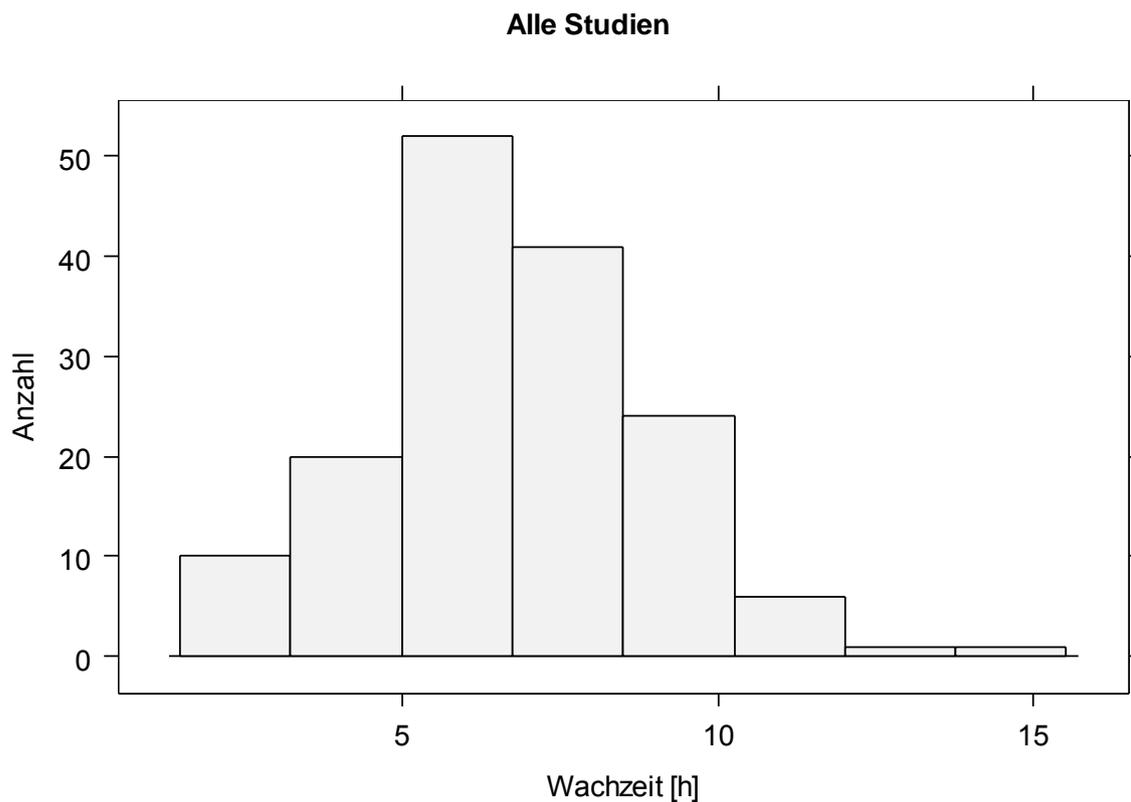


Abb.48: Verteilung der Wachzeit vor der Messung.

3.4.8 Dauer des Nachtschlafs in Stunden

Die von den Probanden angegebene Nachtschlafdauer betrug zwischen 1 und 12 Stunden bei einem Median von 7 Stunden. Die meisten Probanden gaben eine Nachtschlafdauer von 7 oder 8 Stunden an. Von 6 Probanden lagen keine Angaben vor.

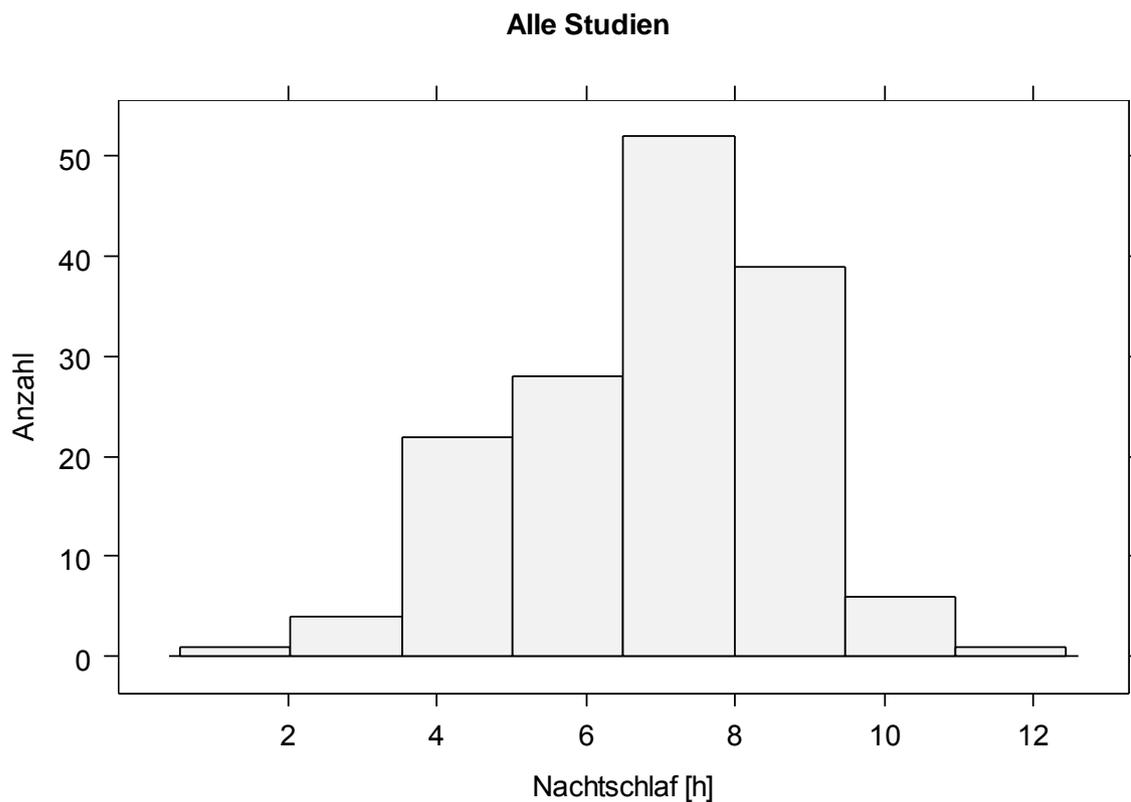


Abb.49: Verteilung der Nachtschlafdauer.

3.4.9 Koffein-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn

In den letzten 4 Stunden vor der Messung hatten 61 Fahrer (38,4 %) Koffein zu sich genommen; 94 (59,1 %) hingegen nicht. Bei 4 (2,5 %) Probanden fehlt diese Angabe.

3.4.10 Nikotin-Konsum in den letzten 4 h vor Messbeginn

40 Probanden (25,1%) hatten in den letzten 4 Stunden Nikotin konsumiert, während 109 Probanden (68,6 %) kein Nikotin zu sich genommen haben. Bei 10 Probanden (6,3 %) fehlt die Angabe.

3.4.11 Zusammenhang von subjektiver und objektiver Schläfrigkeit

Mittels der Spearman Rangkorrelation konnte ein positiver, signifikanter Zusammenhang zwischen der SSS und dem InPUI nachgewiesen werden (Spearman: $N = 139$, $r = 0,26$, $p = 0,002$). Mit steigender subjektiver Schläfrigkeit steigt die mittels des PST objektiv gemessene Schläfrigkeit an.

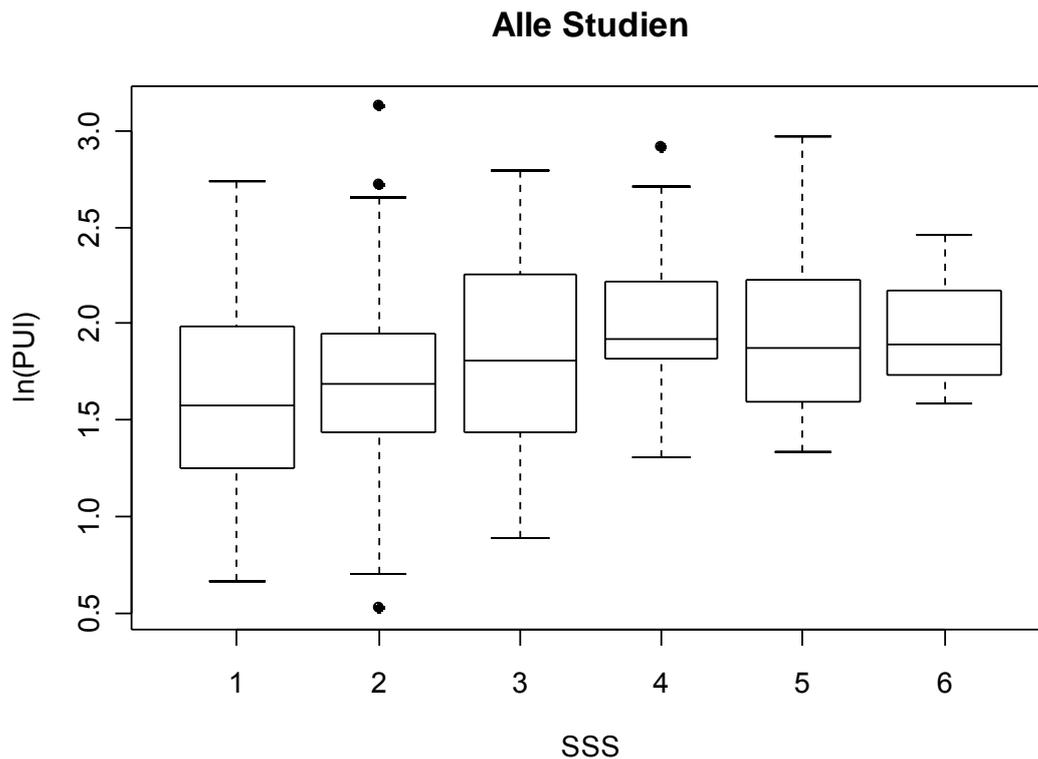


Abb.50: Abhängigkeit des InPUI von der SSS. Dargestellt sind Boxplots.

3.4.12 Abhängigkeit des InPUI von der Fahrtstrecke

Für den Zusammenhang zwischen der zurückgelegten Fahrtstrecke und der Schläfrigkeit anhand des InPUI wurde das Signifikanzniveau verfehlt (Spearman: $N = 139$, $r = 0,05$, $p = 0,56$).

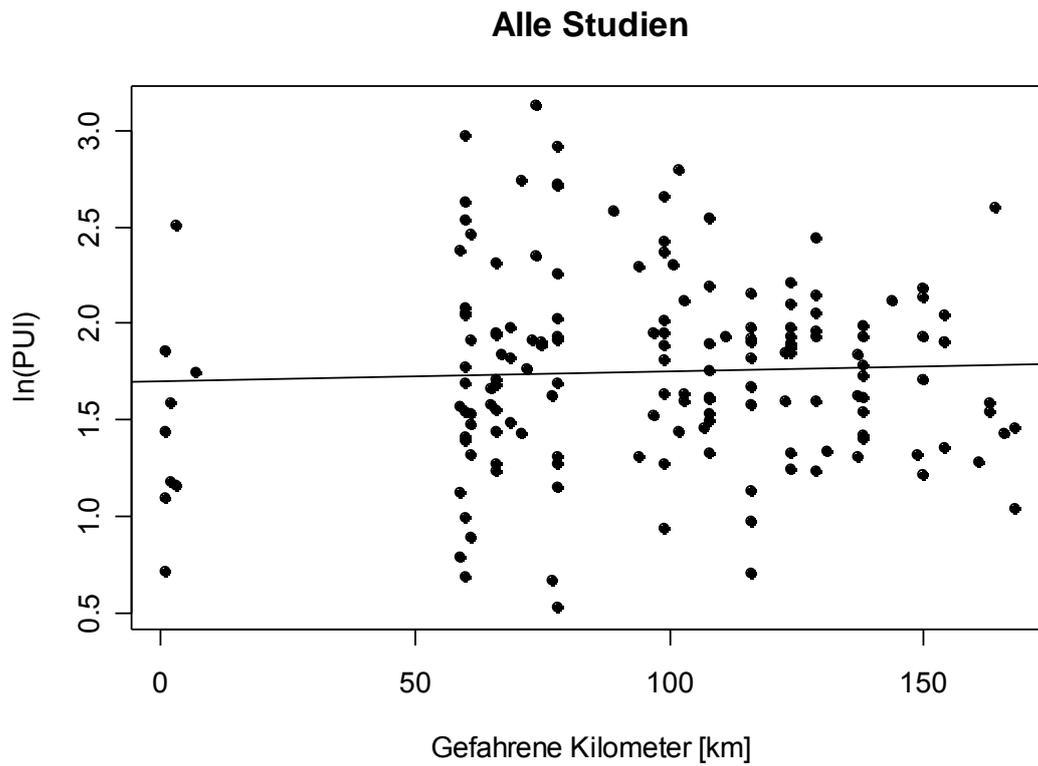


Abb.51: Abhängigkeit des lnPUI von der Fahrtstrecke.

3.4.13 Abhängigkeit des lnPUI von der Wachtzeit

Einen Zusammenhang mit dem lnPUI bezüglich der Wachtzeit konnte nicht gezeigt werden (Spearman: $N = 155$, $r = 0,007$, $p = 0,93$).

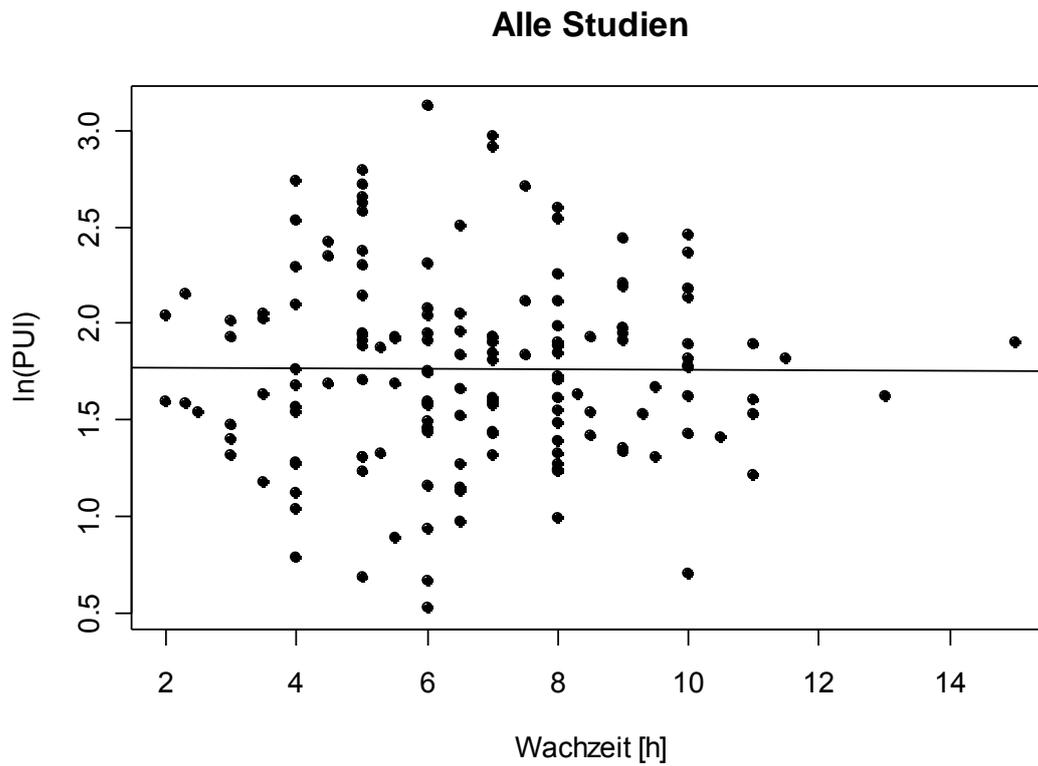


Abb.52: Abhängigkeit des lnPUI von der Wachzeit.

3.4.14 Abhängigkeit des lnPUI vom Nachtschlaf

Es konnte kein Einfluss des Nachtschlafs auf den lnPUI nachgewiesen werden (Spearman: $N = 153$, $r = -0,10$, $p = 0,18$).

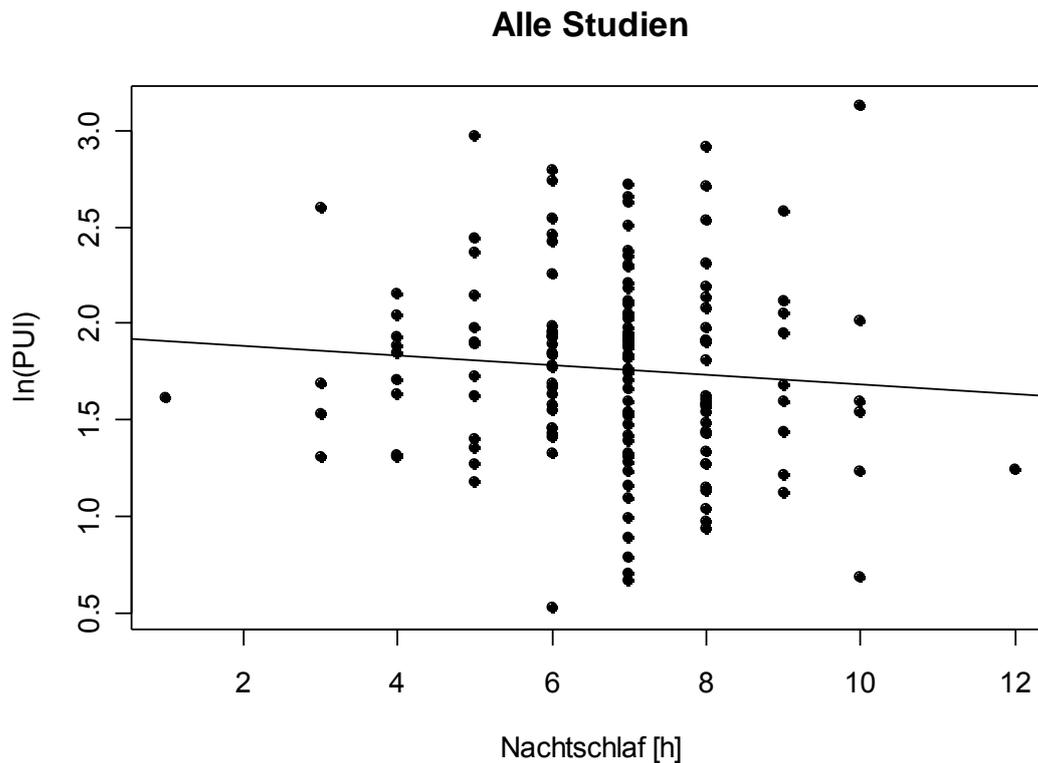


Abb.53: Abhängigkeit des lnPUI vom Nachtschlaf.

3.4.15 Abhängigkeit des lnPUI von der Koffeinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn

In der gemeinsamen Analyse der drei Studien konnte ein Effekt der Koffeinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn gezeigt werden. Die Mittelwerte in den beiden Gruppen, Koffeinkonsum in den letzten 4 Stunden ja/nein, liegen bei 1,66 und 1,84 (t-Test, N = 155, $p = 0,025$). Die Probanden, die angaben, kein Koffein in den letzten 4 Stunden konsumiert zu haben, sind bezüglich des lnPUI um 0,18 schläfriger als die Probanden mit Koffeinkonsum.

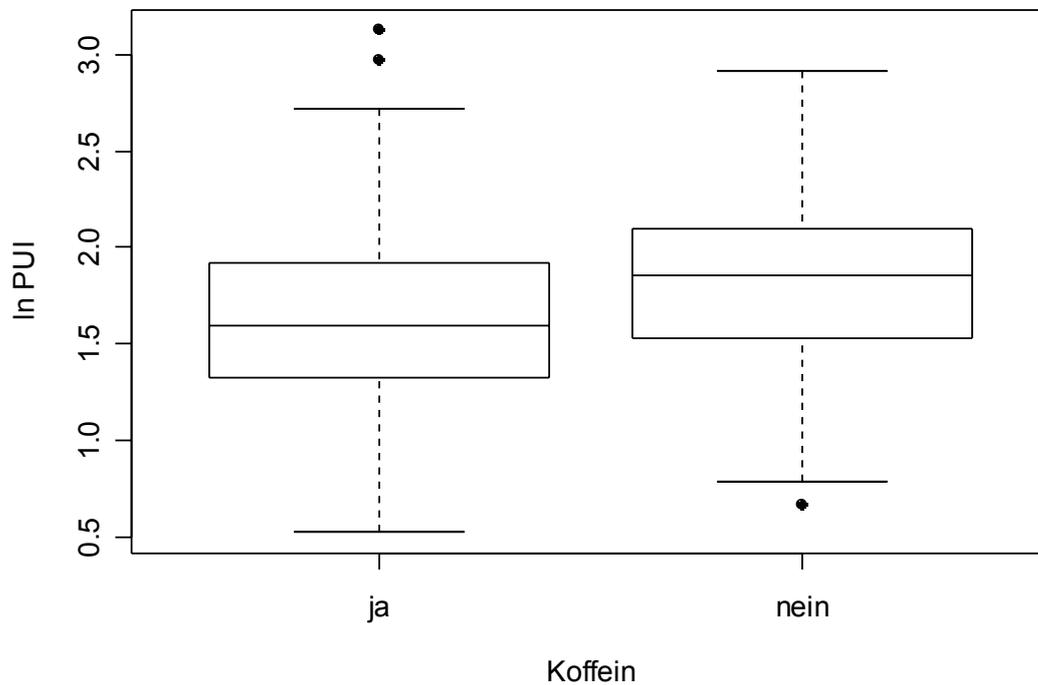


Abb.54: Auswirkung des Koffeinkonsums in den letzten 4 Stunden auf den lnPUI.

3.4.16 Abhängigkeit des lnPUI von der Nikotinaufnahme in den letzten 4 Stunden vor Messbeginn

Es konnte keine Auswirkung der Nikotinaufnahme in den letzten 4 Stunden auf den lnPUI gezeigt werden (t-Test, N = 149, $p = 0,74$).

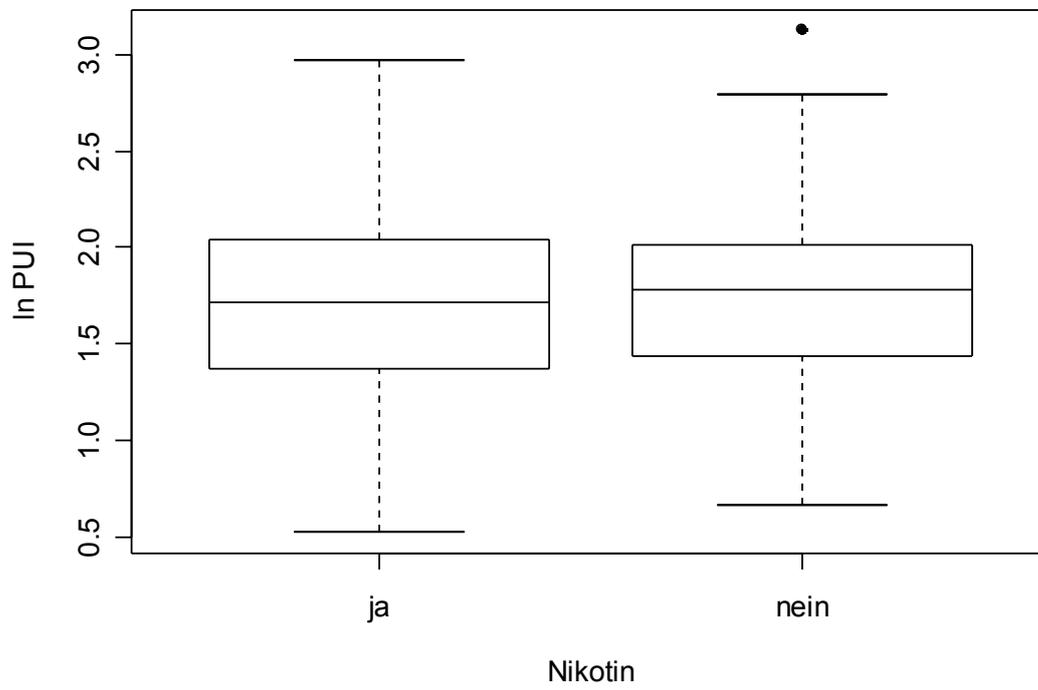


Abb.55: Auswirkung des Nikotinkonsums in den letzten 4 Stunden auf den lnPUI.

4. Diskussion

Der Pupillographische Schläfrigkeitstest (PST), als objektives Messverfahren von Tagesschläfrigkeit, stellt in der Schläfforschung und Schlafmedizin ein etabliertes Verfahren dar (Lüdtke et al., 1998; Wilhelm et al., 1998a-c; Wilhelm et al., 1999; Wilhelm et al., 2001 a-b), mit dem jahrelange Erfahrung in klinischen Studien vorliegt. In den letzten Jahren wurde der Test auch in verkehrsmedizinischen Feldstudien angewandt und stellte alarmierende Fakten zum Problem Fahrerschläfrigkeit auf deutschen Straßen dar (Weeß et al., 2001; Binder et al., 2003). Die vorliegende Untersuchung zu den Messungen 2003 und 2004 an unterschiedlichen Raststätten in Süddeutschland umfasst 159 Autofahrer, in der überwiegenden Mehrzahl PKW-Fahrer. Das Ergebnis aller drei Studien zeigt einen sehr hohen Anteil auffallend schläfriger Autobahnfahrer. In Leipheim wurden 25% als auffällig vermerkt und im Mittel von drei Autobahnstudien 15%.

4.1 Selektion der Probanden

Bei der Bewertung von Resultaten aus freiwilligen Messaktionen ist vor allem der Aspekt der Selektion zu berücksichtigen. Es sind wohl eher gesundheitsbewusste, nicht unter Stress stehende Verkehrsteilnehmer mit relativen Zeitreserven, die ihre Fahrt für eine Testteilnahme länger unterbrechen. Man kann annehmen, dass die müdesten Fahrer an einer solchen Aktion aus Zeitmangel oder in Erwartung negativer Ergebnisse gar nicht teilnehmen. Eine Selektion vor diesem Hintergrund dürfte das Untersuchungsergebnis eher günstiger darstellen, als es wirklich ist. Hinzu kommt, dass die Anwesenheit von Kamerateams beim Rekrutieren, vor und - teilweise auch - während der Messung einen stimulierenden Effekt hat. Das tatsächliche Ausmaß der Fahrerschläfrigkeit dürfte demnach noch höher liegen, als es in dieser Studie ohnehin schon der Fall ist.

4.2 Ergebnisse der Außentemperatur

In Studien von *Weeß* und *Binder* konnten jahreszeitliche bzw. Temperatureinflüsse auf den PUI aufgezeigt werden (Weeß et al., 2001; Binder et al., 2003). In unseren drei Studien war ein solcher Zusammenhang nicht eindeutig nachweisbar. Zwar zeigte die Studie in Leipheim im August 2004 die höchsten Schläfrigkeitswerte; allerdings war der Anteil auffallend schläfriger Fahrer an der Raststätte Sindelfinger Wald im Oktober 2003 wesentlich größer als im Juli 2003. Dabei überstiegen die Außentemperaturen tagsüber bei beiden Sommeraktionen die 30 Grad-Marke.

4.3 Gefahrene Strecke

An der Raststätte Gräfenhausen (A5) hatte eine vorangegangene Studie einen deutlichen Zusammenhang zwischen der gefahrenen Strecke und dem PUI gefunden (Weeß et al., 2001; Wilhelm et al., 2003; Binder et al., 2003). Auch bei den beiden hier dargestellten Autobahnstudien an der Raststätte Sindelfinger Wald wurde diesbezüglich das Signifikanzniveau nur knapp verfehlt. Bei der Leipheim-Aktion konnte jedoch kein solcher Zusammenhang gefunden werden. Allerdings fiel auf, dass die Fahrer in den drei hier behandelten Studien nie weite Strecken zurückgelegt hatten. Die durchschnittliche Strecke betrug meist um 100 km. Es wurde allerdings auch nicht gezielt nach Fahrern mit Kennzeichen weit entfernter Ortschaften rekrutiert, was bei den Gräfenhausen-Messaktionen der Fall gewesen war. Es ist deshalb davon auszugehen, dass diese Aktionen die realen Verhältnisse in dieser Hinsicht besser darstellen als die vorangegangenen.

4.4 Effekte von Nachtschlafdauer und Wachzeit

In allen drei Autobahnstudien gaben die Fahrer in der Regel eine normale Schlafdauer von sieben bis acht Stunden an. Nur in einer von drei Studien zeigte sich ein signifikanter Effekt der Schlafdauer auf den PUI, während dies in den anderen Fällen in Übereinstimmung mit der Literatur nicht der Fall war (Weeß et al., 2001; Binder et al., 2003).

Der Schlafdruck bzw. die Tagesschläfrigkeit nimmt bekanntlich mit der Dauer der Wachzeit zu. In unseren drei Studien war das Zeitfenster allerdings relativ begrenzt, sodass dieser Bezug wenig aussagekräftig untersucht werden konnte. In der Regel begannen die Messaktionen gegen 9 Uhr und waren um 17 Uhr stets beendet, es kamen also keine allzu langen Wachzeiten seit der letzten Schlafphase vor. Wir fanden keinen Zusammenhang zwischen Wachzeit und PUI.

4.5 Koffein- und Nikotineffekte

In den drei Studien war der Anteil der Fahrer, die in der Zeit vor der Messung Koffein oder Nikotin genossen hatten, sehr verschieden. Einen Unterschied zwischen Rauchern und Nichtrauchern in den PST-Messergebnissen gab es in Übereinstimmung mit einer früheren Labor-Studie weder bei einzelnen Autobahnaktionen noch bei gemeinsamer Analyse (Heneka et al., 2003).

Von Koffein ist ein zentral stimulierender Effekt bekannt, der auch mit dem PST belegt werden kann (Stuiber et al., 2003). In einer unserer Autobahn-Studien (Sindelfinger Wald, Oktober 2003) sowie in der gemeinsamen Datenanalyse hat Koffeinkonsum in der Zeit vor der Messung ebenfalls eindeutig niedrigere PUI-Werte zur Folge.

4.6 Zusammenhänge subjektiv empfundener und objektiv messbarer Schläfrigkeit

In der Regel finden sich in PST-Studien - vor allem bei Betrachtung größerer Kollektive - eindeutige Zusammenhänge zwischen subjektiver und objektiver Wachheit bzw. Schläfrigkeit (positive Korrelation). Ein eben solcher Zusammenhang bestand auch in beiden Sindelfinger-Wald-Aktionen und der gemeinsamen Datenanalyse, nicht jedoch bei isolierter Betrachtung der Leipheim-Aktion. Das Ausmaß der Müdigkeit wird nicht zuverlässig eingeschätzt. Aus diesem Grund fallen generell Zusammenhänge zwischen subjektiven und objektiven Schläfrigkeitsausmaßen, gemessen an Korrelationskoeffizienten, meist schwach aus.

4.7 Unterschiede zwischen den Studien

Die Unterschiede zwischen den Studien sind zum Teil durch Temperatureinflüsse oder unterschiedliche Jahreszeiten erklärbar. Regionale Faktoren könnten ebenfalls eine Rolle spielen. Somit wäre es möglich, dass Besonderheiten der Lokalisation der ausgewählten Raststätten an bestimmten Verkehrsachsen und unterschiedliche Frequentierung der Raststätten durch bestimmte Fahrergruppen Einflüsse auf die Ergebnisse gehabt haben. Vor diesem Hintergrund ergibt sich die Notwendigkeit, das Problem Schläfrigkeit am Steuer breitflächig weiter zu untersuchen und solche Besonderheiten bei der Ausarbeitung von Gegenmaßnahmen zu berücksichtigen.

Binder und Weeß (Weeß et al., 2001; Binder et al., 2003) fanden heraus, dass vor allem Schichtarbeiter und Urlaubsreisende schläfrige Messwerte hatten; ihre Angaben wurden im Kontext einer zeitaufwändigen Befragung erhoben. Wir begrenzten bei den vorliegenden Aktionen die Befragung der Verkehrsteilnehmer auf ein Minimum, es wurde weder nach dem Grund der Autofahrt gefragt noch nach der vorangegangenen Tätigkeit. Ziel war es, in den zur Verfügung stehenden Stunden mit geringem Zeitaufwand möglichst viele Verkehrsteilnehmer untersuchen zu können.

4.8 Empfehlungen bei schläfrigen Messwerten und Konsequenzen der Fahrer

Auf die Erklärung des Messergebnisses und die Empfehlungen für die Fahrer wurde in allen Autobahnaktionen großen Wert gelegt und dies ganz besonders wenn auffällige Schläfrigkeit mit dem PST erfasst worden war. Die Fahrer zeigten sich unterschiedlich einsichtig, was ihr Messergebnis betraf. Ein Fahrerwechsel wurde in sehr seltenen Fällen vorgenommen. Hinweise auf positive Koffeineffekte wurden befolgt, zumal die Teilnahme an der Messung mit Gutscheinen für einen Imbiss belohnt war.

Auf die Empfehlung von Kurzschlaf war die Reaktion eine ganz andere. Obwohl wir stark betonten, dass gerade der Kurzschlaf das wirksamste Gegenmittel

gegen Schläfrigkeit am Steuer darstellt und bei der Hauptaktion an der Raststätte Leipheim mehrere klimatisierte Motelräume für „Power-Naps“ zur kostenfreien Nutzung zur Verfügung standen, nahm kein einziger Fahrer diese Möglichkeit wahr. Gründe hierfür waren wohl Zeitmangel und die Befremdlichkeit, an einer Autobahnraststätte ein Schläfchen zu halten.

4.9 Schlussfolgerungen

Die Datenlage zum Thema Fahrerschläfrigkeit wurde mit dieser Studie deutlich verbessert. Sie zeigt, dass trotz günstiger Einflussfaktoren (Freiwilligkeit der Messung, kurze Fahrstrecke, normale Schlafzeit) ein beträchtliches Ausmaß von objektiv erfassbarer Schläfrigkeit vorhanden ist. Am Aktionstag in Leipheim waren 25% der Fahrer objektiv einschlafgefährdet. Verglichen mit einer gesunden Normalpopulation ist der Anteil schläfriger Personen in allen hier dargelegten Autobahn-Studien auffallend hoch. Geeignete Gegenmaßnahmen werden allerdings selbst von offenkundig einschlafgefährdeten Fahrern nur sehr selten ergriffen. Dies macht die Notwendigkeit von Aufklärungskampagnen und weiteren Maßnahmen diesbezüglich deutlich.

5. Kurzfassung

Autofahren erfordert hohe Aufmerksamkeit, Konzentration und Reaktionsbereitschaft. Mindestens ein Viertel aller Verkehrsunfälle in Deutschland sind auf Fahrerschläfrigkeit zurückzuführen. Möchte man daran etwas ändern, ist es wichtig, sich Kenntnisse über die quantitative Bedeutung der Einschlafgefährdung im Straßenverkehr zu verschaffen. In solchen Studien ist der Einsatz objektiver Messverfahren unabdingbar.

Auf Initiative des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) wurden Daten aus mehreren Autobahnaktionen mit Verkehrsteilnehmern anhand des Pupillographischen Schläfrigkeitstest (PST, AMTech, Weinheim) ausgearbeitet. Dieser Test analysiert so genannte Schläfrigkeitwellen der Pupille während einer Videoaufzeichnung im Dunkeln. Seit Jahren wird mit diesem Verfahren in der Schlafforschung und Schlafmedizin den Wachheitsgrad von Gesunden und Patienten objektiv erfasst. Das StMUGV ließ 2003 mit dem gleichen Test Schläfrigkeit bei Ärzten nach nächtlichem Bereitschaftsdienst und bei Arbeitern im Tunnelbau untersuchen.

Die vorliegende Studie umfasst drei Messaktionen, zwei an der Raststätte Sindelfinger Wald (A 81) und die dritte an der Raststätte Leipheim (A 8).

Verschiedene Radiosender informierten die Öffentlichkeit im Vorfeld und während des Aktionstages. Kamerteams von verschiedenen Fernsehsendern begleiteten die Aktionen und sendeten nach entsprechender Aufbereitungszeit ihren Beitrag, welcher in der Folge mehrfach wiederholt wurde.

An den Messtagen wurden freiwillige Verkehrsteilnehmer rekrutiert und mit mehreren PST-Messgeräten untersucht. Angaben zum Nachtschlaf und zum Fahrverhalten erfasste man anonym. Alle Fahrer wurden ausführlich zum Thema Schläfrigkeit aufgeklärt und beraten. Die Bereitschaft der Fahrer zur Teilnahme an den Aktionen war gut. Insgesamt beteiligten sich 159 Verkehrsteilnehmer an den Messungen. Die Messergebnisse zeigten in 59% der Fälle normale, in 26% grenzwertige und in 15% der Verkehrsteilnehmer auffallend schläfrige Werte. Bei der Aktion in Leipheim waren die Ergebnisse

noch erschreckender, lediglich bei 43% der Autofahrer konnte ein normaler Wachheitsgrad vermerkt werden. Dagegen war in 25% der Fälle auffällige Schläfrigkeit zu finden; 32% der Messwerte lag im grenzwertigen Bereich.

Die zurückgelegte Fahrstrecke war in keiner dieser drei Studien sehr weit gewesen (durchschnittlich ca. 100 km). Die Einsicht der Fahrer angesichts schläfriger Messwerte und entsprechenden Warnungen erwies sich sehr unterschiedlich. Bei auffälliger Schläfrigkeit wurde vor allem eine kurze Schlafpause von etwa 15 Minuten empfohlen. Hierfür standen Motelräume zur Verfügung, die allerdings keiner der einschlafgefährdeten Fahrer in Anspruch nahm.

6. Literaturverzeichnis

Biermann U, Brenner H, Bühler S (2000)
Risiko Schlafstörung.
SWR-Sonde-00907.doc

Binder R, Weeß HG, Wilhelm B, Lüdtke H, Grellner W, Steinberg R (2003)
Anteil erhöhter Schläfrigkeitwerte bei Kraftfahrern und deren Ursachen:
Ergebnisse zweier Feldstudien.
DGVM- Kongress, Magdeburg, 2003

Böhning W (2000)
Ökonomische Aspekte müdigkeitsbezogener Einschränkungen: Fahrtauglichkeit
und Unfallhäufigkeit.
Somnologie (Suppl.1), 12

Comnsensus statement: Fatigue and accident in transort operations
European Sleep Research Society 2000.
J Sleep Res (2000) 9, 395

De Valck E, Cluydts R
Duration of a driving simulator sleepiness task: Sleepiness and Fatigue.
5. International Meeting on Sleep Disorders, Bordeaux, Vortragsband

Durst W, Widmann A, Wilhelm B, Otto G (2004)
Wie müde macht Tunnelbau? Pupillographische Schläfrigkeitwerte nach
unterschiedlicher Schichtdauer.
Arbeitsmedizin-Sozialmedizin-Unfallmedizin ASU 38, 4.

Heneka C, Lüdtke H, Wilhelm B (2003)
Effects of nicotine on the results of the pupillographic sleepiness test (PST) in
normal healthy subjects.
Somnologie 7 (Suppl.1), 69

Hoddes E, Dement WC, Zarcone V (1972)
The development and use of the Stanford Sleepiness Scale (SSS).
Psychophysiology 9, 150

Hoddes E, Zarcone V, Smythe H, Phillips R, Dement WC (1973)
Quantification of sleepiness: A new approach.
Psychophysiology 10, 431-436

Horne JA, Foster SC (1995)
Can exercise overcome sleepiness?
Sleep Research 24, 437

Horne JA und Reyner LA (1995)
Driver sleepiness.
J Sleep Res 4, 23-29

Horne JA, Reyner LA (1996)
Counteracting driver sleepiness: effects of napping, caffeine, and placebo.
Psychophysiology 33, 306–309

Horne JA and Reyner L (1999)
Vehicle accidents related to sleep: a review. Occupational and Environmental.
Med 56, 5: 289-294

Körner A, Wilhelm B, Lüdtkke H, Wilhelm H (1998)
Pupillographic sleepiness test in normals.
Sleep Suppl 21, 53

Loewenfeld IE (1958)
Mechanisms of reflex dilation of the pupil.
Doc Ophthalmol 12, 185-448

Loewenfeld I (1999)
The Pupil. Anatomy, Physiology and Clinical Applications.
Butterworth-Heinemann, Woburn

Lowenstein O, Feinberg R, Loewenfeld IE (1963)
Pupillary movements during acute and chronic fatigue.
Invest Ophthalmol Vis Sci 2, 138-157

Lüdtkke H, Wilhelm B, Adler M, Schaeffel F, Wilhelm H (1998)
Mathematical procedures in data recording and processing of pupillary fatigue
waves.
Vision Res 38, 2889-2896

Lüdtkke H, Körner A, Wilhelm B, Wilhelm H (2000)
Reproduzierbarkeit des Pupillographischen Schläfrigkeitstests bei gesunden
Männern.
Somnologie 4, 170-172

McLaren JW, Erie JC, Brubaker RF (1992)
Computerized analysis of pupillograms in studies of alertness.
Invest Ophthalmol Vis Sci 33, 671-676

McLaren JW, Fjerstad WH, Ness AB, Graham MD, Brubaker RF (1995)
New video pupillometer.
Optical Engineering 34, 676-683

Merrit SL, Keegan AP, Mercer PW (1994)
Artifact management in pupillometry.
Nurs Res 43, 56-59

Möller M, Schläfke ME, Schäfer T (2002)
On the influence of pretest conditions on the reproducibility of the Pupillographic Sleepiness Test.
Somnologie 6, 75-78

Pohl A, Cassel W, Dugnus D, Peter JH, Wilhelm B, Lüdtke H (1998)
Tagesmüdigkeit - Vergleich von verschiedenen Testverfahren bei Patienten mit SBAS.
Somnologie 2 (Suppl.1), 43

Powell CN, Guilleminault C (2001)
Alcohol versus Sleepiness.
5. International Meeting on Sleep Disorders, Bordeaux, Vortragsband

Reyner LA, Horne JA (1997)
Suppression of sleepiness in drivers: combination of coffee with a short nap.
Psychophysiology 37, 721-725

Reyner LA, Horne JA (2000)
Early morning driver sleepiness: Effectiveness of 200mg coffee.
Psychophysiology 27, 251-256

Schmidt HS and Schrier SS (1983)
Comparison of MSLT and pupillometry in assessment of narcolepsy and idiopathic CNS hypersomnolence.
Sleep Res 12, 281

Schmidt HS and Schrier SS (1983)
Comparison of MSLT and pupillometry in assessment of narcolepsy and idiopathic CNS hypersomnolence.
Sleep Res 12, 281

Schnell R, Lüdtke H, Wilhelm B (2003a)
Hang-over of Oxazepam in healthy normal volunteers quantified by the pupillographic sleepiness test (PST).
Somnologie 7 (Suppl.1), 50

Schnell R, Lüdtke H, Wilhelm B (2003b)
Still drowsy in the morning?
Objektive investigation of hang-over effects in Songha[®] Night tablets.
Int Pupil Colloquium, Kreta.
<http://www.jiscmail.ac.uk/files/PUPIL/25thcolloquium.htm>

- Sullivan CE, Issa FG, Berthon-Jones M, Eves L (1981)
 Reversal of obstructive sleep apnoea by continuous positive airway pressure applied through the nares.
 Lancet 18, 862-865
- Stuiber G, Lüdtke H, Wilhelm B (2003)
 Effects of caffeine on the results of the pupillographic sleepiness test in normal healthy subjects.
 Somnologie 7 (Suppl.1), 54
- Suratt PM, Findley LJ (1999)
 Driving with Sleep Apnea.
 Editorials—NEJM 340, 881-883
- Szabadi E and Bradshaw CM (1996)
 Autonomic pharmacology of α_2 -adrenoceptors.
 J Psychopharmacol 10, 6-18
- Ten Thoren C und Gundel A (2003)
 Müdigkeit als Unfallursache im Stadtbereich - eine Befragung von Unfallbeteiligten.
 Somnologie 7, 125-133
- Weeß HG, Lund R, Gresele C, Böhning W, Sauter C, Steinberg R und die Arbeitsgruppe Vigilanz der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM) (1998)
 Vigilanz, Einschlafneigung, Daueraufmerksamkeit, Müdigkeit, Schläfrigkeit. Die Messung müdigkeitsbezogener Prozesse bei Hypersomnien. Theoretische Grundlagen.
 Somnologie 2, 32-41
- Weeß HG, Sauter C, Geisler P, Böhning W, Wilhelm B, Rotte M, Gresele C, Schneider C, Schulz H, Lund R, Steinberg R und die Arbeitsgruppe Vigilanz der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM) (2000)
 Vigilanz, Einschlafneigung, Daueraufmerksamkeit, Müdigkeit, Schläfrigkeit- Diagnostische Instrumentarien zur Messung müdigkeits- und schläfrigkeitsbezogener Prozesse und deren Gütekriterien.
 Somnologie 4, 20-38
- Weeß HG, Binder R, Grellner W, Lüdtke H, Wilhelm B, Steinberg R (2001)
 Verkehrsgefährdung infolge Schläfrigkeit am Steuer eine Untersuchung auf einer deutschen Bundesautobahn.
 Somnologie 5 (Suppl.2), 58

Weeß HG, Binder R, Schürmann T, Wilhelm B, Lüdtke H, Grellner W, Steinberg R (2003)
Anteil erhöhter Schläfrigkeit bei Kraftfahrern und Ursachen: Ergebnisse zweier Feldstudien.
Somnologie 7 (Suppl.1) 9-88

Wilhelm B und Wilhelm H (1994)
Die Pupille als Schlaf-Wach-Indikator. Diagnose der Einschlafgefährdung mittels Pupillographie.
Z Prakt Augenheilkd 15, 185-189

Wilhelm B, Wilhelm H, Lüdtke H, Adler M, Streicher P (1996 a)
Pupillographie zur objektiven Vigilanzprüfung. Methodische Probleme und Lösungsansätze.
Ophthalmology 93, 446-450

Wilhelm B, Wilhelm H, Streicher P, Lüdtke H, Adler M (1996b)
Pupillographie als objektiver Vigilanztest.
Wien Med Wochenschr 146, 387-389

Wilhelm B, Wilhelm H, Lüdtke H, Streicher P, Adler M (1998a)
Pupillographic assessment of sleepiness in sleep-deprived healthy subjects.
Sleep 21, 258-265

Wilhelm B, Lüdtke H, Widmaier D, Wilhelm H, Rühle KH (1998b)
Therapy control in sleep apnea patients by means of a pupillographic sleepiness test.
Sleep (Suppl.21), 266

Wilhelm B, Rühle KH, Widmaier D, Lüdtke H (1998c)
Objektivierung von Schweregrad und Therapieerfolg beim obstruktiven Schlafapnoe- Syndrom mit dem pupillographischen Schläfrigkeitstest.
Somnologie 2, 51-57

Wilhelm B, Lüdtke H, Wilhelm H (1999)
Spontaneous pupillary oscillations- an objective measure for the level of tonic central nervous activations.
In: Kuhlmann J, Böttcher M (Hrsg.): Pupillography: Principles, Methods and Applications.
Vol. 18, W. Zuckerschwerdt Verlag, München-Bern-Wien-NewYork

Wilhelm B, Giedke H, Lüdtke H, Bittner E, Hoffmann A, Wilhelm H (2001a)
Daytime variations in central nervous system activation measured by a pupillographic sleepiness test
Journal of Sleep Research 10, 1-7

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

Wilhelm B (2002)
Wichtige Rahmenbedingungen für den Pupillographischen Schläfrigkeitstest
(PST) und Diagnostik und Therapiekontrolle schlafbezogener Atemstörungen.
Pneumologie 56, 63

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

Wilhelm B, Widmann A, Köhler C, Durst W, Vogt J, Otto G (2004).
Macht Nachtdienst müde? Physiologische Parameter bei Ärzten nach dem
Bereitschaftsdienst.
Arbeitsmedizin-Sozialmedizin-Unfallmedizin ASU 39, 4

Wilhelm H, Lüdtke H, Wilhelm B (1998)
Pupillographic sleepiness testing in hypersomniacs and normals.
Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 236, 725-729

Wilhelm H, Wilhelm B, Lüdtke H (1999)
Pupillography – principles and applications in basic and clinical research.
In: Kuhlmann J, Böttcher M (Hrsg.): Pupillography: Principles, Methods and
Applications.
Vol. 18, W. Zuckerschwerdt Verlag, München-Bern-Wien-NewYork

Zulley J, Cronlein T, Hell W, Langwieder K (1995)
Falling asleep at the wheel: the chief cause of severe traffic accidents Wien.
Med Wochenschr 145 (17-18):473

Yoss RE, Moyer NJ, Ogle KN (1969)
The pupillogram and narcolepsy. A method to measure decreased levels of
wakefulness.
Neurology 19, 921-928

Danksagung

Meiner Doktormutter PD Dr. Barbara Wilhelm möchte ich ganz herzlich danken für ihre wunderbare Betreuung, ihr großes persönliches Engagement und für ihre absolute Zuverlässigkeit.

Ebenfalls danken möchte ich Dipl.-Phys. Holger Lüdtker für seine wertvolle Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Besonderer Dank geht auch an Dipl.-Ing. Wilhelm Durst für die tatkräftige Unterstützung und die freundliche Begleitung der Arbeit.

Dem Auftraggeber Herrn Dr. Otto vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz danke ich für die Initiative.

Ebenso danke ich Prof. Dr. Helmut Wilhelm, Rainer Schnell, Renate Kellert, Anja Widmann, Jutta Isensee, Dr. Michael Frieben, Michael Sell, Thomas Merkt und Martin Grimm.

Ein ganz persönliches Dankeschön geht an meine Eltern, meinen Mann und meine kleine Tochter.

Lebenslauf

Geburtsdatum/Ort	05.03.1978 in Freiburg im Breisgau
Eltern	Sabine Weil, Lehrerin Helmut Weil, Allgemeinarzt
1984 – 1997	Freie Waldorfschule Offenburg
1997	Abitur
November/ Dezember 1997	Praktikum in einer Schule in Argentinien
Gesamtes Jahr 1998	Praktikum in einem Kinderheim in Peru
Februar - Juni 1999	Aushilfe in einer Allgemeinarztpraxis als Arzthelferin
Juli 1999 - März 2000	Pflegepraktikum in der Klinik Öschelbronn
April 2000	Beginn des Medizinstudiums in Tübingen
März 2002	Physikum
März 2003	Erstes Staatsexamen
September 2003	Heirat mit Steve Vega Vilca
Dezember 2004	Geburt meiner Tochter Alba
März 2005	Zweites Staatsexamen
April – Juli 2006	Praktisches Jahr Gynäkologie
August – November 2006	Praktisches Jahr Chirurgie
Dezember 2006 – März 2007	Praktisches Jahr Innere Medizin
Mai 2007	Drittes Staatsexamen
Mai 2007	Geburt meiner Tochter Selma